

# ДОКЛАДЫ

## АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Главный редактор академик А. И. ОПАРИН

НОВАЯ СЕРИЯ

22-й ГОД ИЗДАНИЯ

1954

ТОМ ХСV, № 5

### СОДЕРЖАНИЕ

#### МАТЕМАТИКА

Н. И. Кованцов. К проективной теории комплекса прямых . . . . .	917
Л. Д. Кудрявцев. О дифференцируемых отображениях . . . . .	921
Академик М. А. Лаврентьев. Устойчивость в теореме Лиувилля . . . .	925
Г. Н. Положий. Теорема о соответствии границ и вариационные теоремы для некоторых эллиптических систем дифференциальных уравнений	927
Ю. И. Соркин. О вложении структуроидов и структур . . . . .	931
Б. М. Уразбаев. Об одной асимптотической формуле в алгебре . . . .	935

#### МЕХАНИКА

Действительный член АН УССР А. Ю. Ишлинский. Об уравнении продольных движений каната (упругой нити) переменной длины . . . .	939
Е. П. Попов. К приближенному исследованию автоколебаний и вынужденных колебаний нелинейных систем . . . . .	943

#### ГИДРАВЛИКА

А. Х. Мирзаджанзаде. Нестационарное движение вязко-пластичной жидкости в цилиндрической трубе круглого поперечного сечения	947
--	-----

#### АСТРОНОМИЯ

В. Ф. Газе. Исследование структуры Галактики по диффузным туманностям . . . . .	951
О. Д. Дзимистаришвили, А. Л. Ошерович, Н. А. Размадзе и С. Ф. Родионов. Звездный электрофотометр с фотоумножителем . . . . .	955
М. А. Могилевский, А. Е. Веллер и В. М. Вальд-Перлов. Определение локальных магнитных полей на Солнце при помощи модуляционного фотоэлектрического спектрофотометра . . . . .	957

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Г. А. Гринберг, Н. Н. Лебедев, И. П. Скальская и Я. С. Уфлянд. Волновая задача для параболического зеркала . . . . .	961
---	-----

## ФИЗИКА

- М. А. Блохин. Исследование рентгеновского К-спектра поглощения титана в титанатах бария и свинца . . . . . 965
- К. М. Поливанов. О наблюдении гиромангнитного эффекта Фишера в теле, расположенном в волноводе . . . . . 969
- Член-корреспондент АН СССР С. Э. Фриш и И. П. Запесочный. Определение функций возбуждения энергетических уровней ртути по оптическим функциям возбуждения . . . . . 971
- И. С. Шапиро. О четности волновых функций пара- и орто-состояний . . . . . 975

## ГИДРОЛОГИЯ

- К. К. Вотинцев. Химический состав вод атмосферных осадков Прибайкалья . . . . . 979

## ГЕОФИЗИКА

- В. Б. Милин. Об аномальных электрических полях в атмосфере . . . . 983
- Академик В. В. Шулейкин. Физические причины заострения вершин волн . . . . . 987

## ХИМИЯ

- В. С. Абрамов. О реакции альдегидов с фосфитами . . . . . 991
- В. В. Перекалин и А. С. Сопова. Синтез производных  $\gamma$ -аминокислот . . . . . 993
- М. А. Прокофьев и З. А. Шабарова. Синтез некоторых аминокислотных производных 4-аминопиримидинов . . . . . 997

## ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- И. И. Дилунг и Б. Я. Даин. Темновые и фотохимические взаимодействия пленок трифенилметановых красителей с кислородом и влагой . . . . . 1001
- Я. З. Казавчинский. Об одном методе определения постоянных вириальной формы уравнения состояния реального газа . . . . . 1005
- З. К. Майзус и Н. М. Эмануэль. Макроскопические стадии при катализе окислами азота реакции окисления пропана . . . . . 1009
- Н. В. Николаева и А. А. Гросман. Электровосстановление аниона  $S_2O_8^{2-}$  на платиновом электроде . . . . . 1013
- С. М. Скуратов, В. В. Воеводский, А. А. Стрепихеев, Е. Н. Канарская и Р. С. Муромова. Катализ реакции полимеризации  $\epsilon$ -капролактама основаниями . . . . . 1017

## БИОХИМИЯ

- Г. Ач и Ф. Б. Штрауб. Об обмене веществ асцитических раковых клеток . . . . . 1021
- Е. А. Бойченко и В. И. Баранов. Участие органических соединений железа в фоторедукции углекислоты изолированными хлоропластами . . . . . 1025
- А. С. Кайнова, Б. Н. Степаненко и А. Н. Петрова. Получение синтетических гликогенов . . . . . 1029
- Н. П. Лисовская. Фосфопротеины и процессы обмена веществ в мозгу . . . . . 1033

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Действительный член АН БССР М. А. Безбородов и М. В. Фехнер. Химическое исследование русских стекол XI—XIII веков . . . . . 1037
- Член-корреспондент АН СССР П. П. Будников и С. Г. Тресвятский. Влияние газовой среды на спексаемость окиси хрома . . . . . 1041
- П. М. Шурыгин и О. А. Есин. О растворимости железа в жидких шлаках . . . . . 1043



## ГЕОЛОГИЯ

О. И. Джанелидзе. О фораминиферах нижнего миоцена Грузии . . . . .	1047
Б. П. Кротов. Новые данные по вопросу о закономерностях образования и распределения осадочных рудных месторождений . . . . .	1051
В. Т. Мордовский и В. И. Дитмар. К вопросу о стратиграфии девонских отложений Рыбинской впадины (Восточная Сибирь) . . . . .	1055
В. С. Муромцев. О возрасте острогской свиты Кузбасса . . . . .	1059
Д. П. Резвой. О южной границе Кураминско-Ферганского среднепалеозойского поднятия в Южном Тянь-Шане . . . . .	1063
И. С. Усенко. О ранних этапах формирования Украинского кристаллического массива . . . . .	1067
Е. В. Чибрикова. Находки спор в бавлинской свите Башкирии . . . . .	1071
Б. М. Юсупов. К истории формирования Татарского свода . . . . .	1073

## ПЕТРОГРАФИЯ

С. И. Бенеславский. Некоторые причины неполной выщелачиваемости гиббситовых бокситов . . . . .	1077
В. А. Гроссгейм и К. Ф. Короткова. Новые данные по петрографии пород верхнего сенона северо-западного Кавказа . . . . .	1081
В. П. Флоренский и И. М. Варенцов. К вопросу о палеозойском вулканизме на востоке Русской платформы . . . . .	1085

## ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Е. Н. Ананова. Споры <i>Osmunda cinnamomea</i> L. в межледниковых миндель-рисских отложениях у г. Лихвина . . . . .	1089
Н. И. Пьявченко. О природе нижнего максимума пыльцы ели в торфяниках . . . . .	1093

## ГИСТОЛОГИЯ

М. Я. Субботин. К вопросу о лимфатических сосудах в сальнике кролика . . . . .	1097
--	------

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Г. М. Шавловский. Участие микроорганизмов ризосферы в снабжении растений витаминами . . . . .	1101
---	------

## ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. А. Геллер. О корневых выделениях растений . . . . .	1105
А. Н. Лапшина. Влияние внекорневого питания фосфором на содержание в растениях азотистых веществ, сахаров и фосфорной кислоты . . . . .	1109

## ЗООЛОГИЯ

С. М. Ляхов. О числе генераций у <i>Tendipes</i> (Diptera, Tendipedidae) в колхозных прудах Куйбышевской области . . . . .	1113
--	------

## ЭМБРИОЛОГИЯ

А. С. Гинзбург. Изменчивость расположения борозд дробления у осетровых рыб . . . . .	1117
А. И. Зотин. Особенности секреции фермента вылупления у зародышей осетровых и лососевых рыб . . . . .	1121

## ЭНДОКРИНОЛОГИЯ

А. А. Войткевич. Регенерация щитовидной железы в условиях разного уровня основного обмена . . . . .	1125
---	------

915

Т-02773. Подписано к печати 13 IV 1954 г. Тираж 5750 экз. Зак. 169  
Формат бумаги  $70 \times 108^{1/16}$ . Бум. л.  $6^{3/4}$ . Печ. л. 18,49+3 вкл. Уч.-изд. л. 17,37  
2-я типография Издательства Академии наук СССР. Москва, Шубинский пер., 10



Н. И. КОВАНЦОВ

# К ПРОЕКТИВНОЙ ТЕОРИИ КОМПЛЕКСА ПРЯМЫХ

(Представлено академиком Н. С. Александровым 6 II 1954)

Отнеся линейчатый комплекс к некоторому подвижному тетраэдру  $A_1A_2A_3A_4$  и определяя инфинитезимальные перемещения вершин этого тетраэдра равенствами

$$dA_i = \omega_{ik} A_k \quad (i, k = 1, 2, 3, 4), \quad (1)$$

мы выделим главные формы  $\omega_{13}, \omega_{14}, \omega_{23}, \omega_{24}$ , если поместим вершины  $A_1, A_2$  на луче комплекса. Между четырьмя формами при трехмерности рассматриваемого линейчатого многообразия (комплекса) должно существовать некоторое линейное соотношение, которое примет вид

$$\omega_{13} + \omega_{24} = 0, \quad (2)$$

если в качестве координатных плоскостей  $(A_1A_2A_3)$  и  $(A_1A_2A_4)$  взять плоскости, соответствующие на луче комплекса вершинам  $A_1A_2$  (соответственно) и определенным образом нормировать координаты вершин тетраэдра. При этом плоскость, соответствующая на луче точке  $M = A_1 + tA_2$ , будет определяться тангенциальными координатами

$$\sigma = (A_1A_2A_3) + t(A_1A_2A_4). \quad (3)$$

Дифференцируя (2) внешним образом и развертывая получающееся при этом квадратичное соотношение по лемме Картана, получим следующую систему линейных тождеств:

$$\begin{aligned} \omega_{21} - \omega_{43} &= X_1\omega_{14} + X_2\omega_{24} + X_3\omega_{23}, \\ \omega_{22} - \omega_{44} + \omega_{33} - \omega_{11} &= X_2\omega_{14} + X_4\omega_{24} + X_5\omega_{23}, \\ \omega_{12} - \omega_{34} &= X_3\omega_{14} + X_5\omega_{24} + X_6\omega_{23}. \end{aligned} \quad (4)$$

Зададим произвольную линейчатую поверхность комплекса уравнениями

$$\omega_{23} = p\omega_{24}, \quad \omega_{14} = q\omega_{24}, \quad (5)$$

где  $p$  и  $q$  могут быть, очевидно, произвольными функциями луча. Известно, что на каждом луче такой поверхности существуют две точки, в которых касательная плоскость поверхности совпадает с соответствующими этим точкам плоскостями комплекса (см., например, <sup>(1)</sup>). Назовем эти точки точками прикосновения поверхности (5). Найдя

$$\begin{aligned} dM &= (\omega_{11} + t\omega_{21})A_1 + (\omega_{12} + t\omega_{22} + dt)A_2 + \\ &+ (\omega_{13} + t\omega_{23})A_3 + (\omega_{14} + t\omega_{24})A_4, \end{aligned} \quad (6)$$

мы получим тангенциальные координаты касательной плоскости поверхности (5) в точке  $M$ :

$$(A_1A_2dM) = \omega_{24} [(-1 + tp)(A_1A_2A_3) + (q + t)(A_1A_2A_4)]. \quad (*)$$

Сравнивая их с координатами (3), мы придем к квадратному уравнению, определяющему точки прикосновения:

$$pt^2 - 2t - q = 0. \quad (7)$$

Заметим, что развертывающиеся поверхности, характеризующиеся совпадением точек прикосновения, будут соответствовать равенству  $pq + 1 = 0$ . Впредь развертывающиеся поверхности комплекса мы будем исключать из рассмотрения.

Если точка  $M$  описывает некоторую линию  $s$  на поверхности (5), то плоскость (3), соответствующая в комплексе этой точке, будет огибать развертывающуюся поверхность, образующая которой определится как линия пересечения плоскости (3) и бесконечно близкой к ней, т. е. уравнениями:

$$(R, A_1, A_2, A_3 + tA_4) = 0, \quad d(R, A_1, A_2, A_3 + tA_4) = 0, \quad (8)$$

где  $R$  — текущая точка. Если  $R = A_1 + \lambda A_2 + \eta(\beta A_2 + A_3 + tA_4)$  — уравнение искомой образующей ( $\eta$  — произвольный параметр;  $\lambda, \beta$  — неизвестные коэффициенты, следовательно,  $P = A_1 + \lambda A_2$  — точка, в которой образующая пересекает луч комплекса), то, подставляя значение  $R$  во второе уравнение (8) и приравнявая нулю коэффициент при  $\eta$  и свободный член, получим два соотношения для определения  $\lambda$  и  $\beta$ :

$$p\lambda t - (\lambda + t) - q = 0, \quad (9)$$

$$\beta(-t\omega_{23} + \omega_{24}) + (\omega_{34} + t\omega_{44} + dt - t\omega_{33} - t^2\omega_{43}) = 0. \quad (10)$$

Сравнивая уравнения (7) и (9), замечаем, что соответствие точек  $M$  и  $P$  является инволюцией, двойными точками которой служат точки прикосновения поверхности (5).

Далее, пользуясь равенством (9), можно представить соотношение (\*) в виде:

$$\rho(A_1 A_2 dM) = (A_1 A_2 A_3) + \lambda(A_1 A_2 A_4)$$

( $\rho$  — модуль пропорциональности), откуда видно, что касательная плоскость поверхности (5) в точке  $M$  является плоскостью, соответствующей в комплексе точке  $P$ . Аналогично можно показать, что касательная плоскость поверхности (5) в точке  $P$  соответствует в комплексе точке  $M$ .

Плюккеровы координаты  $e$  образующей (8) и  $m$ -касательной к линии  $s$  на поверхности (5) имеют следующий вид:

$$e = (A_1 + \lambda A_2, \beta A_2 + A_3 + tA_4) = a(A_1 + \lambda A_2, P_3 + tA_4), \quad (11)$$

$$m = (A_1 + tA_2, dM) = a(A_1 + tA_2, Q_3 + \lambda A_4), \quad (12)$$

где  $a = -t\omega_{23} + \omega_{24}$ ,  $P_3 = A_3 + \frac{A}{a} A_2$ ,  $A = t^2\omega_{43} + t(\omega_{33} - \omega_{44}) - \omega_{34} - dt$ ,  $Q_3 = A_3 + \frac{B}{a} A_2$ ,  $B = t^2\omega_{21} + t(\omega_{11} - \omega_{22}) - \omega_{12} - dt$ .

Главные поверхности комплекса. Точки луча, в которых совпадают прямые (11) и (12), характеризуются пропорциональностью коэффициентов при  $(A_i A_k)$  ( $i, k = 1, 2, 3, 4$ ). Сравнивая равенства (11) и (12), обнаружим, что указанное совпадение будет иметь место в точках, которые определяются следующими квадратными уравнениями:

$$pt^2 - 2t - q = 0, \quad (13)$$

$$t^2(\omega_{21} - \omega_{43}) - t(\omega_{22} + \omega_{33} - \omega_{11} - \omega_{44}) - (\omega_{12} - \omega_{34}) = 0. \quad (14)$$



При помощи равенств (4) и (5) последнее уравнение можно представить в виде:

$$t^2(x_1q + x_2 + x_3p) - t(x_2q + x_4 + x_5p) - (x_3q + x_5 + x_6p) = 0. \quad (14')$$

Требование совместности уравнений (13) и (14') приводит нас к пропорциональности коэффициентов

$$\frac{x_1q + x_2 + x_3p}{p} = \frac{x_2q + x_4 + x_5p}{2} = \frac{x_3q + x_5 + x_6p}{q} = s, \quad (15)$$

где через  $s$  обозначена общая величина отношения. Перепишем уравнения (15) в виде

$$\begin{aligned} x_1q + x_2 + (x_3 - s)p &= 0, & x_2q + x_4 - 2s + x_5p &= 0, \\ (x_3 - s)q + x_5 + x_6p &= 0, \end{aligned} \quad (16)$$

придем к условию их совместности:

$$\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 - s \\ x_2 & x_4 - 2s & x_5 \\ x_3 - s & x_5 & x_6 \end{vmatrix} = 0. \quad (17)$$

В силу сходства этого уравнения с характеристическим уравнением элементарной теории поверхностей второго порядка будем называть его характеристическим уравнением комплекса. Отличие этого уравнения от соответствующего уравнения теории поверхностей второго порядка будет состоять лишь в том, что неизвестное  $s$  располагается у него не по первой, а по второй диагонали определителя. Это обстоятельство является существенным, ибо попытки расположить неизвестное по первой диагонали неизбежно ведут к асимметрии определителя, которую нельзя исправить никакой перестановкой равенств (4).

Линейчатые поверхности, определяемые уравнением (17), назовем главными поверхностями комплекса. Такие поверхности были отмечены Клейном (4). Исследование характеристического уравнения приводит к следующей проективной классификации комплексов:

1. Уравнение имеет три различных корня  $s_1 \neq s_2$ ,  $s_2 \neq s_3$ ,  $s_3 \neq s_1$ . Комплекс содержит три главных поверхности, каждая из которых соответствует определенному корню характеристического уравнения.

2. Уравнение имеет два равных корня  $s_1 = s_2 \neq s_3$ . По аналогии с теорией поверхностей второго порядка такой комплекс можно было бы назвать комплексом проективного вращения. Подстановка кратного корня в уравнения (16) выделяет из них лишь одно независимое. Главная поверхность становится неопределенной.

3. Характеристическое уравнение имеет три равных корня  $s_1 = s_2 = s_3$ . Подстановка трехкратного корня в уравнения (16) обращает их в тождества. Любая поверхность комплекса является главной. Чтобы выяснить свойства комплекса, обратим внимание на то, что у главных поверхностей линия  $s$  описывается точками прикосновения, причем касательная плоскость поверхности является соприкасающейся плоскостью этой линии. Следовательно, линия прикосновения  $s$  является асимптотической линией главной поверхности. Единственным же комплексом, все линейчатые поверхности которого имеют линии прикосновения своими асимптотическими линиями, является линейный комплекс (2).

Таким образом, комплексом, характеристическое уравнение которого имеет трехкратный корень, является линейный комплекс. Линейный комплекс соответствует в про-



ективной области сфере метрической теории поверхностей второго порядка.

Отметим, между прочим, условия, характеризующие линейный комплекс:

$$x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_5 = 0, \quad x_6 = 0, \quad 2x_3 = x_4. \quad (18)$$

Беря две главных поверхности  $(p_1, q_1)$  и  $(p_2, q_2)$ , соответствующие двум неравным корням характеристического уравнения, можно показать, что для них выполняются следующие два соотношения:

$$p_1 q_2 + q_1 p_2 + 2 = 0, \quad (19)$$

$$x_1 q_1 q_2 + x_4 + x_6 p_1 p_2 + x_2 (q_1 + q_2) + x_3 (p_1 q_2 + q_1 p_2) + x_5 (p_1 + p_2) = 0. \quad (20)$$

Первое равенство естественно назвать условием проективной перпендикулярности, второе — условием проективной сопряженности двух линейчатых поверхностей комплекса. Что касается условия проективной перпендикулярности, то оно уже известно в литературе под названием гармонического пересечения поверхностей <sup>(3)</sup>. Две поверхности, связанные условием проективной перпендикулярности, обладают тем свойством, что проективные пучки их касательных плоскостей вдоль общей образующей находятся в инволюции. Отметим некоторые свойства проективно перпендикулярных поверхностей:

1. Поверхности, проективно перпендикулярные самим себе, являются развертывающимися ( $pq + 1 = 0$ ).

2. Необходимым и достаточным условием гармонической сопряженности пар точек прикосновения двух линейчатых поверхностей является проективная взаимная перпендикулярность этих поверхностей.

Условие проективной взаимной сопряженности двух линейчатых поверхностей можно было бы описать следующим образом. Если потребовать полной симметрии прямых (11) и (12) относительно точек  $M$  и  $P$ , то это приведет к равенству  $P_3 = Q_3$ , или  $A = B$ . Последнее же после небольших преобразований примет вид:

$$t^2(x_1 q + x_2 + x_3 p) - t(x_2 q + x_4 + x_5 p) - (x_3 q + x_5 + x_6 p) = 0. \quad (21)$$

Следовательно, требуемая симметрия будет иметь место лишь в двух точках, координаты которых определяются квадратным уравнением (21). Назовем их точками симметрии поверхности  $(p, q)$ . Можно показать, что необходимым и достаточным условием проективной взаимной сопряженности двух линейчатых поверхностей является гармоническая сопряженность пары точек симметрии одной поверхности и пары точек прикосновения другой.

Все поверхности комплекса, проективно сопряженные с некоторой поверхностью  $(p, q)$  при выполнении определенных условий интегрируемости для  $p$  и  $q$  образуют некоторую конгруэнцию, которую назовем конгруэнцией, сопряженной поверхности  $(p, q)$ . Эту конгруэнцию можно считать аналогом диаметральной плоскости поверхности второго порядка, сопряженной некоторому направлению. Фокусы конгруэнции, сопряженной поверхности  $(p, q)$ , совпадают с точками симметрии этой поверхности.

Поступило  
9 XI 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> E. Vessiot, Leçons de géométrie supérieure, Paris, 1919. <sup>2</sup> E. Picard, Ann. de l'Ec. Normale, 6, Octobre (1877). <sup>3</sup> М. А. Акивис, ДАН, 61, № 2 (1948). <sup>4</sup> F. Klein, Math. Ann., 5, 271 (1872).



Л. Д. КУДРЯВЦЕВ

## О ДИФФЕРЕНЦИРУЕМЫХ ОТОБРАЖЕНИЯХ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 12 II 1954)

Настоящая заметка посвящена изучению некоторых общих свойств дифференцируемых отображений областей евклидовых пространств. В первой части рассматриваются качественные свойства, во второй — метрические свойства указанных отображений.

Пусть  $E^n$  —  $n$ -мерное евклидово пространство;  $G$  — область в нем;  $f$  — дифференцируемое отображение области  $G$  снова в  $E^n$ ;  $J$  — якобиан отображения  $f$ ;  $G_0$  — множество нулей якобиана. Отображение  $f$ , у которого якобиан не меняет знака, называется ориентированным.

**Теорема 1.** Сильный принцип сохранения области. Пусть  $f$  — ориентированное отображение и  $G_0$  есть изолированное в  $G$  множество. Тогда для любой подобласти  $\Gamma \subseteq G$  ее образ  $f(\Gamma)$  также есть область.

**Следствие.** Сильный принцип минимума и максимума. Пусть в дополнение к условиям теоремы  $f$  непрерывна на замкнутой области  $\bar{G}$ ; тогда максимум, а если  $|f(x)| \neq 0$  \* на  $G$ , то и минимум  $|f(x)|$  достигается только на границе области  $G$ .

**Теорема 2.** Слабый принцип сохранения области. Пусть  $f$  — ориентированное отображение, множество  $G_0$  не имеет внутренних точек и все полные прообразы  $f^{-1}(y)$  суть ограниченные замкнутые множества; тогда образ области  $G$  при отображении  $f$  также есть область.

**Следствие.** Слабый принцип максимума. Пусть в дополнение к условиям теоремы отображение  $f$  непрерывно на замкнутой области  $\bar{G}$ ; тогда максимум  $|f(x)|$  достигается во всяком случае на границе области  $G$ .

Отметим, что обобщение этого следствия на случай отображений в пространстве меньшего числа измерений можно найти в работе автора (1), а в приведенном здесь виде оно было получено ранее А. М. Роднянским (2).

В следующих теоремах 3 и 4 граница  $\sigma$  области  $G$  состоит из конечного числа замкнутых топологических  $(n-1)$ -мерных псевдомногообразий, истинный цикл  $z$  есть какая-либо из двух возможных ориентаций границы  $\sigma$  области  $G$ , через  $\nu[f(z), y]$  обозначается коэффициент зацепления цикла  $f(z)$  с точкой  $y \in E^n$ . Отображение  $f$  предполагается непрерывным на замкнутой области  $\bar{G}$ .

**Теорема 3.** Слабый принцип минимума. Пусть  $f$  — ориентированное отображение,  $G_0$  не имеет внутренних точек,  $o$  — начало координат пространства  $E^n$  и  $\nu[f(z), o] = 0$ . Тогда

$$|f(x)| \geq \min_{\xi \in \sigma} |f(\xi)| > 0$$

для всех  $x \in \bar{G}$ .

\* Через  $|f(x)|$  мы обозначаем модуль радиус-вектора с началом в начале координат и концом в точке  $f(x)$ .



**Теорема 4. Принцип соответствия границ.** Пусть  $f$  — ориентированное отображение,  $G_0$  — изолированное множество и отображение отображает границу  $\sigma$  области  $G$  взаимно-однозначно на границу  $\sigma'$  некоторой области  $G'$ . Тогда отображение  $f$  есть взаимно-однозначное отображение  $\bar{G}$  на  $\bar{G}'$ .

Возвратимся теперь снова к исходным предпосылкам. Сформулируем теорему, являющуюся в известном смысле обобщением классической теоремы Руше для случая дифференцируемых отображений и очень полезную при доказательстве ряда теорем. Через  $U_r(x)$  будем обозначать шар радиуса  $r$  с центром в точке  $x$ , а через  $S_r(x)$  — сферу, его границу.

**Теорема 5.** Пусть  $x^{(0)} \in G$ ,  $y^{(0)} = f(x^{(0)})$ ,  $J(x^{(0)}) \neq 0$  и  $g$  — непрерывное отображение области  $G$  в  $E^n$ . Тогда для достаточно малых  $\delta > 0$  существует  $\varepsilon = \varepsilon(\delta) > 0$  такое, что из  $\rho[f(x), g(x)] < \varepsilon$  для  $x \in S_\delta(x^{(0)})$  следует:

$$f[U_\delta(x^{(0)})] \supseteq U_\varepsilon(y^{(0)}), \quad g[U_\delta(x^{(0)})] \supseteq U_\varepsilon(y^{(0)}).$$

Из этой теоремы легко получается обобщение теоремы Гурвица.

**Теорема 6.** Пусть  $y^{(0)} \in f(G)$  и во всех точках полного прообраза точки  $y^{(0)}$  якобиан  $J$  отображения  $f$  отличен от нуля. Пусть, далее,  $g_k$  — последовательность непрерывных отображений ( $k=1, 2, \dots$ ) — равномерно внутри области  $G$  сходится к отображению  $f$ . Тогда, если при каждом отображении  $g_k$  полный прообраз точки  $y^{(0)}$  состоит не более чем из  $r$  точек, то и полный прообраз  $f^{-1}(y^{(0)})$  состоит не более чем из  $r$  точек.

**Теорема 7.** Пусть последовательность взаимно-однозначных непрерывных отображений  $g_k$  ( $k=1, 2, \dots$ ) равномерно внутри области  $G$  сходится к  $f$ . Тогда якобиан  $J$  отображения  $f$  не меняет знака, а если множество нулей якобиана предельного отображения есть изолированное множество, то предельное отображение также взаимно-однозначно.

Очевидно, что это есть обобщение хорошо известной теоремы о пределе последовательности однолистных аналитических функций, которая содержится в нашей как частный случай.

Заметим, что теорема 6 может быть с успехом применена к оценке якобиана предельного отображения через якобианы сходящейся последовательности:

**Теорема 8.** Пусть последовательность дифференцируемых отображений  $f_n$  области  $G$  сходится равномерно внутри  $G$  к дифференцируемому отображению  $f$ ; тогда

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} \iint \dots \int |J_n(x)| dG \geq \iint \dots \int |J(x)| dG$$

(здесь  $J_n$  — якобиан отображения  $f_n$ ,  $n=1, 2, \dots$ ).

Основным аппаратом при доказательстве перечисленных теорем является аппарат обычной геометрической теории функций действительного переменного и аппарат степени непрерывных отображений, который применяется методами, развитыми, например, в работах автора (1, 3). Приложение указанных результатов можно найти в заметке автора (4). Отметим, что полученные утверждения легко обобщаются на специальные классы просто непрерывных отображений. Для получения соответствующих формулировок надо вместо якобиана  $J(x)$  рассматривать степень отображения  $\gamma(x)$ , в частности, под  $G_0$  понимать множество точек  $G$ , в которых степень отображения обращается в нуль. В теоремах 2 и 3 надо еще потребовать, чтобы  $f(G_0)$  не имело внутренних точек. В теореме 8 интеграл  $\iint \dots \int |J(x)| dG$  следует за-



менить вариацией отображения  $f$  (см. заметку автора <sup>(5)</sup>). Укажем, наконец, что условия теорем 1—7 необходимы в том смысле, что при отказе от какого-либо из них сформулированные утверждения, вообще говоря, перестают быть верными, что подтверждается соответствующими примерами.

Рассмотрим теперь одну вариационную задачу теории отображений. При дифференцируемом отображении  $f$  области  $G$  каждый бесконечно малый шар  $U_r(x)$ ,  $x \in G$ , переходит в бесконечно малый эллипсоид с полуосями  $\rho_i$ , где  $0 \leq \rho_1 \leq \rho_2 \leq \dots \leq \rho_n$ . Положим  $\lambda_i = \rho_i / r$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) и назовем  $\lambda_i$  собственными значениями отображения  $f$  в точке  $x$ .

**Теорема 9.** *Отображение области  $G$ , осуществляющее минимум функционала*

$$\Phi(f) = \iint \dots \int (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \dots + \lambda_n^2) dG$$

*в классе непрерывно дифференцируемых отображений, у которых фиксировано граничное отображение, есть гармоническое отображение области  $G$ . (Мы предполагаем при этом, что область  $G$  такова, что для нее имеет место классический принцип Дирихле.)*

В заключение перейдем к метрическим теоремам для отображения  $f$ , снова удовлетворяющего только тем требованиям, которые сформулированы в начале статьи.

**Теорема 10.** *Множество  $D \subseteq f(G)$  имеет лебеговскую меру нуль тогда и только тогда, когда*

$$\text{mes}[f^{-1}(\dot{D}) \setminus G_0] = 0.$$

**Теорема 11.** *Множество  $D \subseteq f(G)$  измеримо тогда и только тогда, когда измеримо множество  $f^{-1}(D) \setminus G_0$ .*

**Теорема 12** (о точках плотности). *Для почти всех точек  $x \in E \setminus G_0$ , где  $E$  — произвольное измеримое множество,  $E \subseteq G$ , имеет место:*

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\text{mes}[f(U_r(x) \cap E)]}{\text{mes } f[U_r(x)]} = 1.$$

**Следствие.** *Для почти всех  $x \in E \setminus G_0$  имеет место*

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\text{mes}[fU_r(x) \cap E]}{\text{mes}[U_r(x) \cap E]} = |J(x)|.$$

**Теорема 13.** *Существует разбиение множества  $G \setminus G_0$  на попарно не пересекающиеся  $B$ -множества (класса не выше второго)*

*$E_0, E_1, E_2, \dots: G \setminus G_0 = \bigcup_{k=0}^{\infty} E_k$  такие, что  $\text{mes } E_0 = 0$ , а на каждом  $E_k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) отображение  $f$  взаимно-однозначно.*

Теоремы 10—13 доказываются обычным методом теории функций действительного переменного и находят свое применение, например, при нахождении критериев суммируемости степеней якобиана, при изучении обобщенного интеграла Стильтеса от функции по отображению, в замене переменного в кратном интеграле и т. п.

Московский физико-технический  
институт

Поступило  
8 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Л. Д. Кудрявцев, Матем. сборн., 32 (74): 3, 493 (1953). <sup>2</sup> А. М. Роднянский, ДАН, 72, № 1, 15 (1950). <sup>3</sup> Л. Д. Кудрявцев, Матем. сборн., 33 (7): 2, 389 (1953). <sup>4</sup> Л. Д. Кудрявцев, ДАН, 92, № 3, 469 (1953). <sup>5</sup> Л. Д. Кудрявцев, Усп. матем. наук, 8, № 2 (54), 164 (1953).



МАТЕМАТИКА

Академик М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ

УСТОЙЧИВОСТЬ В ТЕОРЕМЕ ЛИУВИЛЛЯ

Пусть система

$$B = f(A);$$

$$u = u(x, y, z); \quad v = v(x, y, z); \quad w = w(x, y, z) \quad (1)$$

реализует гомеоморфное отображение области  $D$  пространства точек  $A(x, y, z)$  на область  $\Delta$  пространства точек  $B(u, v, w)$ . Мы будем в дальнейшем предполагать, что все функции (1) дифференцируемы и что все частные производные первого порядка удовлетворяют условию Гельдера

$$\left| \left[ \frac{\partial u}{\partial x} \right]_A - \left[ \frac{\partial u}{\partial x} \right]_{A'} \right| < k \overline{AA'}^\alpha, \dots$$

где  $k$  и  $\alpha$ ,  $0 < \alpha \leq 1$ , — две положительные постоянные;  $\overline{AA'}$  — расстояние между точками  $A$  и  $A'$ . Примем также, что функциональный определитель системы (1) всюду в  $D$  положителен.

При этих условиях система (1) будет переводить каждую бесконечно малую сферу  $S$  области  $D$  в бесконечно малый эллипсоид  $\epsilon$  области  $\Delta$ ; обозначим через  $p$  отношение наибольшей оси к наименьшей оси эллипсоида  $\epsilon$ ,  $1 \leq p = p(x, y, z)$ .

Лиувилль показал, что если  $p \equiv 1$ , то отображение (1) всегда сводится к сдвигу, преобразованию подобия и инверсии; иначе говоря, Лиувиллем была показана невозможность конформного отображения трехмерных областей\*.

В настоящей заметке я имею в виду отметить два результата, устанавливающие, в некотором смысле, устойчивость отмеченного свойства отображения (1) при  $p \equiv 1$ . Мы показали при некоторых дополнительных условиях, что если  $p$  близко к единице, то отображение (1) близко к лиувиллевскому.

1. Пусть область  $D$  — единичная сфера, а  $\Delta$  принадлежит единичной сфере. Обозначим через

$$B = L(A) \quad (2)$$

отображение сферы, получаемое ее сдвигом, а также преобразованиями подобия и инверсии. Отображение (2) будем называть лиувиллевским.

При этих обозначениях и принятых условиях имеет место следующая теорема:

---

\* В известных мне доказательствах теоремы Лиувилля предполагается, что функции (1) трижды дифференцируемы, однако нетрудно показать (используя принцип Дирихле), что из принятых нами условий на (1) и из  $p \equiv 1$  автоматически вытекает неограниченная дифференцируемость всех функций (1).



Теорема 1. Если при отображении (1)

$$B = f(A)$$

единичной сферы  $S$  на часть единичной сферы имеем

$$0 \leq p - 1 < \varepsilon,$$

то найдется лиувиллевское отображение (2) такое, что в сфере радиуса  $r$ ,  $r < 1$  (концентрической  $S$ ), будем иметь

$$|f(A) - L(A)| < \mu(\varepsilon, k, \alpha, r),$$

где  $\mu$  — универсальная функция, причем

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \mu(\varepsilon, k, \alpha, r) = 0.$$

Доказательство приведенной теоремы основано на известных свойствах квази-комформных отображений плоских областей. Этот метод не дал возможности выяснить вид функции  $\mu$ , а также не дает ответа на вопрос: нельзя ли заменить в условиях теоремы универсальную функцию  $\mu = \mu(\varepsilon, k, \alpha, r)$  универсальной функцией  $\nu = \nu(\varepsilon)$ ,  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \nu(\varepsilon) = 0$ , зависящей только от  $\varepsilon$ ?

Получить указанные уточнения удалось только для отображений с осевой симметрией.

2. Пусть область  $D$  есть единичный бесконечный цилиндр

$$C: y^2 + z^2 < 1; \quad (3)$$

обозначим через  $B = kA + a$  линейное преобразование пространства  $A$ :  $u = kx + a$ ,  $v = ky$ ,  $w = kz$ , где  $k > 0$ , а  $a$  — произвольное действительное число. При этих обозначениях имеет место следующая теорема:

Теорема 2. Если отображение (1)

$$B = f(A)$$

единичного цилиндра (3) на часть единичного цилиндра  $v^2 + w^2 < 1$  обладает осевой симметрией и если

$$0 \leq p - 1 < \varepsilon,$$

то найдется линейное преобразование  $kA + a$  такое, что в цилиндре  $C$  будем иметь

$$|f(A) - (kA + a)| < \mu(k, \alpha, x)\varepsilon, \quad (4)$$

где  $\mu$  — универсальная функция координаты  $x$  и параметров условия Гельдера  $k$  и  $\alpha$ .

В условиях теоремы правую часть (4) можно заменить выражением  $\lambda(x)\nu(\varepsilon)$

$$|f(A) - (kA + a)| < \lambda(x)\nu(\varepsilon),$$

где  $\lambda$  и  $\nu$  — две универсальные функции.

Поступило  
4 II 1954

Г. Н. ПОЛОЖИЙ

# ТЕОРЕМА О СООТВЕТСТВИИ ГРАНИЦ И ВАРИАЦИОННЫЕ ТЕОРЕМЫ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 12 II 1954)

В работе устанавливаются теорема о соответствии границ и ряд вариационных теорем для эллиптической системы уравнений \*

$$au_x + bu_y - v_y = 0, \quad du_x + cu_y + v_x = 0, \quad (1)$$

$$\delta = ac - \left(\frac{b+d}{2}\right)^2 > 0, \quad a > 0.$$

Теорема (о соответствии границ). Пусть в области  $G$  в плоскости  $z = x + iy$   $u$  и  $v$  являются непрерывно дифференцируемыми решениями системы уравнений (1), где  $a, b, c, d$  — заданные в области  $G$  функции от  $x$  и  $y$ , имеющие производные, удовлетворяющие условию  $H$  и такие, что  $m < a, c, \delta < M$ ;  $|b|, |d| < M$ ;  $m, M$  — положительные постоянные;  $G^*$  — область в плоскости  $w = f(z) = u + iv$ , соответствующая  $G$  \*\*.

Тогда, если все граничные точки  $L$  и  $L^*$  областей  $G$  и, соответственно,  $G^*$  достижимы, то функция  $w = f(z)$  и ей обратная функция  $z = f^{-1}(w)$  равномерно непрерывны в замкнутых областях  $G + L$  и, соответственно,  $G^* + L^*$  и дают взаимно-однозначное и непрерывное соответствие между точками этих замкнутых областей.

В самом деле, полагая

$$\zeta = \xi + i\eta = -\frac{V_{\delta_0}}{c_0}(y - y_0) + i\left[(x - x_0) - \frac{b_0 + d_0}{2c_0}(y - y_0)\right],$$

$$w = u + iv = \frac{1}{V_{\delta_0}}U + i\left(\frac{b_0 - d_0}{2V_{\delta_0}}U + V\right), \quad U + iV = \omega,$$

где индекс нулик указывает значения величин в фиксированной точке  $z_0 \in G$ , получаем неравенства

$$\Lambda(z_0) \geq \Lambda_1 \Lambda_2 \Lambda_3, \quad \lambda(z_0) \leq \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3,$$

где  $\Lambda(z_0), \lambda(z_0)$  — максимальное и минимальное растяжения функции  $w = f(z)$  в точке  $z_0$ ;  $\Lambda_i, \lambda_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) — то же самое, но в применении, соответственно, к функциям  $\zeta = \zeta(z)$ ,  $\omega = \omega(\zeta)$  и  $w = w(\omega)$ . Но  $\Lambda_2 = \lambda_2$  (3), а  $K_1 = \Lambda_1/\lambda_1$  и  $K_3 = \Lambda_3/\lambda_3$  в соответствии с общими формулами (4),

\* Начало исследований предельных свойств решений краевых задач при изменении области положено в работах М. В. Келдыша и М. А. Лаврентьева (1).

\*\* Сохранение области для системы уравнений (1) установлено в наших работах (2, 3).

а следовательно, и  $K(z) = \Lambda(z)/\lambda(z)$  равномерно ограничены в области  $G$ . Полагая теперь  $0 < \beta \leq |f(z_{1r}) - f(z_{2r})|$ , где  $z_{1r}$  и  $z_{2r}$  — точки области  $G$ , лежащие на пересечении окружности  $|z - P| = r$  с жордановыми полуинтервалами  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , определяющими одну и ту же достижимую точку  $P$  на  $L$ , приходим к неравенству

$$\beta^2 \ln \frac{R}{\varepsilon} \leq 2\pi \int_{\theta_{1r}}^{\theta_{2r}} d\theta \int_{\varepsilon}^R \left| \frac{df(z)}{ds} \right|^2 r dr,$$

где  $R, \varepsilon$  — положительные постоянные ( $\varepsilon < R$ );  $\theta_{1r}$  и  $\theta_{2r}$  — аргументы точек  $(z_{1r} - P)$  и  $(z_{2r} - P)$ ;  $d/ds$  — производная по направлению окружности  $|z - P| = r$ . Отсюда получаем неравенство

$$\beta^2 \ln \frac{R}{\varepsilon} < 2\pi K \int_{\theta_{1r}}^{\theta_{2r}} d\theta \int_{\varepsilon}^R \Lambda(z) \lambda(z) r dr < 2\pi KS,$$

где  $K$  и  $S$  — конечные постоянные;  $S$  — верхняя грань площади областей, содержащихся в  $G$ . Из последнего неравенства следует справедливость теоремы.

**Следствие.** Пусть функция  $w = f(z) = u + iv$  отображает круг  $|z| < 1$  на заданную область  $G^*$  в плоскости  $w = u + iv^*$ . Тогда для того, чтобы эта функция давала взаимно-однозначное и непрерывное соответствие между точками замкнутых областей  $|z| \leq 1$  и  $G^* + L^*$ , необходимо и достаточно, чтобы граница  $L^*$  области  $G^*$  была жордановой кривой.

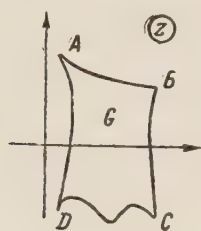


Рис. 1

Пусть  $G$  — область в плоскости  $z = x + iy$ , ограниченная двумя потенциальными линиями  $AB, DC$ :  $u|_{AB} = 0$ ,  $u|_{DC} = H = \text{const} > 0$ , и двумя линиями тока  $AD, BC$ :  $v|_{AD} = c = \text{const}$ ,  $v|_{BC} = c + Q = \text{const} > c$ ;  $w = f(z) = u + iv$  — комплексный потенциал, соответствующий области  $G$ , т. е. решение системы уравнений (1) при указанных краевых условиях;  $\nabla u = u_x + iu_y$ ,  $L = AB + DC + AD + BC$ ,  $L' = AB + DC$  (см. рис. 1).

Пусть  $G_1 \subset G$  — область, получающаяся из  $G$  путем вариации ее граничных потенциальных линий и линий тока;  $w_1 = f_1(z) = u_1 + iv_1$  — комплексный потенциал, соответствующий области  $G_1$ , и вообще все величины, взятые с индексом единица снизу, относятся к области  $G_1$ . При замене области  $G$  областью  $G_1$  значение потенциальной функции  $u$  на линии наименьшего потенциала  $AB$  и на потенциальной линии, ей соответствующей, условимся все время считать равным нулю, а под соответствующими линиями тока будем понимать линии  $v(x, y) = v_1(x, y) = \text{const}$ .

При замене области  $G$  областью  $G_1$  за счет изменения краевых условий путем смещения одной из точек  $A, B, C, D$  вдоль границы  $G$  или при вдавливании одной из граничных потенциальных линий и линий тока, но при неизменных точках их раздела и при неизменном значении  $H$  имеют место следующие теоремы:

**Теорема 1.** При уменьшении потенциальной линии: а)  $Q_1 < Q$ ; б)  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  на неизменной части уменьшаемой потенциальной линии и вблизи ее конца на неизменной линии тока и  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  на неизменной части увеличиваемой линии тока, на неизменной потенциальной линии и вблизи ее конца на неизменной линии тока;

\* Существование такого отображения установлено М. А. Лаврентьевым (6).



в) в  $G_1 + L_1 - L'_1 L'$  будет  $u_1 > u$ , если уменьшается потенциальная линия наименьшего потенциала, и  $u_1 < u$ , если уменьшается потенциальная линия наибольшего потенциала; г) линии тока в  $G_1 + L_1$  отодвигаются от увеличенной линии тока, если последнюю считать соответствующей самой себе.

Теорема 2. При вдавливании потенциальной линии: а)  $Q_1 > Q$ ; б)  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  на неизменной потенциальной линии и вблизи ее концов на линиях тока и  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  на неизменной части вдавливаемой потенциальной линии и вблизи ее концов на линиях тока; в) в  $G_1 + L_1 - L'_1 L'$  будет  $u_1 > u$ , если вдавливается потенциальная линия наибольшего потенциала, и  $u_1 < u$ , если вдавливается потенциальная линия наименьшего потенциала.

Теорема 3. При вдавливании линии тока: а)  $Q_1 < Q$ ; б)  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  на неизменной части вдавливаемой линии тока и на одной из потенциальных линий и, кроме того, на другой потенциальной линии или  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$ , или  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вблизи ее конца, примыкающего к вдавливаемой линии тока, и  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  вблизи другого ее конца, причем на неизменной линии тока в первом случае будет  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вблизи концов и  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вне концов, а во втором случае  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вблизи конца ее, примыкающего к потенциальной линии, на которой  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$ , и  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  вблизи другого ее конца; в) на неизменной части вдавливаемой линии тока  $u_1 > u$  со стороны линии наибольшего потенциала и  $u_1 < u$  со стороны линии наименьшего потенциала; г) линии тока в  $G_1 + L_1$  отодвигаются от вдавленной линии тока, если последнюю считать соответствующей самой себе.

При тех же условиях, но при неизменном значении  $Q$  имеют место, соответственно, следующие теоремы:

Теорема 1а. При уменьшении потенциальной линии: а)  $H_1 > H$ ; б)  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  на неизменной части уменьшаемой потенциальной линии, на неизменной линии тока и вблизи ее конца на неизменной потенциальной линии и  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  на неизменной части увеличиваемой линии тока и вблизи ее конца на неизменной потенциальной линии; в)  $u_1 > u$  в  $G_1 + L_1$  вне неизменной части уменьшаемой потенциальной линии, если уменьшается потенциальная линия наименьшего потенциала; если же уменьшается потенциальная линия наибольшего потенциала, то  $u_1 > u$  на неизменной ее части и на неизменной линии тока и  $u_1 < u$  на неизменной части увеличиваемой линии тока; г) линии тока  $G_1 + L'$  отодвигаются от увеличенной линии тока, если последнюю считать соответствующей самой себе.

Теорема 2а. При вдавливании потенциальной линии: а)  $H_1 < H$ ; б)  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  на неизменной части вдавливаемой потенциальной линии и на одной из линий тока и, кроме того, на другой линии тока или  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$ , или  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вблизи ее конца, примыкающего к вдавливаемой потенциальной линии, и  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  вблизи другого ее конца, причем на неизменной потенциальной линии в первом случае будет  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вблизи концов и  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  вне ее концов, а во втором случае  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  вблизи конца ее, примыкающего к линии тока, на которой  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$ , и  $|\nabla u_1| > |\nabla u|$  вблизи другого ее конца; в)  $u_1 < u$  в  $G_1 + L_1$  вне неизменной части вдавливаемой потенциальной линии, если вдавливается линия наименьшего потенциала; если же вдавливается линия наибольшего потенциала, то  $u_1 < u$  на неизменной ее части, на одной из линий тока и на другой линии тока вблизи ее конца, примыкающего к вдавливаемой потенциальной линии, и  $u_1 > u$  вне концов на вдавленной части потенциальной линии.

Теорема 3а. При вдавливании линии тока: а)  $H_1 > H$ ; б)  $|\nabla u_1| >$

$>|\nabla u|$  на неизменной линии тока и вблизи ее концов на потенциальных линиях и  $|\nabla u_1| < |\nabla u|$  на неизменной части вдавливаемой линии тока и вблизи ее концов на потенциальных линиях; в)  $u_1 > u$  на неизменной линии тока, а на неизменной части вдавливаемой линии тока  $u_1 > u$  со стороны потенциальной линии наибольшего потенциала и  $u_1 < u$  со стороны линии наименьшего потенциала; г) линии тока в  $G_1 + L'$  отодвигаются от вдавленной линии тока, если последнюю считать соответствующей самой себе.

Справедливость пп. а), в), г) теорем 1, 2, 3, 1а, 2а, 3а для произвольных односвязных областей, ограниченных жордановыми кривыми, и п. б) в предположении, что граничные предельные значения  $\nabla u$  и  $\nabla u_1$  существуют, следует из теоремы о сохранении области для эллиптических систем дифференциальных уравнений, установленной нами ранее (<sup>2, 3</sup>).

Поступило  
27 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. В. Келдыш, М. А. Лаврентьев, Изв. АН СССР, сер. матем., № 4, 551 (1937). <sup>2</sup> Г. Н. Положий, ДАН, 58, № 7 (1947). <sup>3</sup> Г. Н. Положий, Матем. сборн., 32, № 3 (1953). <sup>4</sup> Г. Н. Положий, ДАН, 63, № 6 (1948). <sup>5</sup> М. А. Лаврентьев, Изв. АН СССР, сер. матем., 12, № 6 (1948).

Ю. И. СОРКИН

# О ВЛОЖЕНИИ СТРУКТУРОИДОВ И СТРУКТУР

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 18 II 1954)

Ивенс <sup>(1)</sup> решил проблему тождества для любого класса  $\mathfrak{A}$ -алгебр такого, что всякая неполная  $\mathfrak{A}$ -алгебра этого класса вложима в  $\mathfrak{A}$ -алгебру этого же класса\*. Далее Ивенс, опираясь на теорему Макнила <sup>(2)</sup>, доказанную также у Биркгофа <sup>(3)</sup>, о вложении частично упорядоченных множеств в структуры, утверждает, что тем самым решена проблема тождества для структур. Однако для такого заключения необходимо, чтобы понятия частично упорядоченного множества и неполной структуры совпадали, что и утверждается вскользь Ивенсом. В действительности, однако, эти два понятия, хотя и тесно связаны друг с другом, не являются тождественными, и для применимости теоремы Ивенса к структурам необходима теорема о вложении неполных структур в структуры. В дальнейшем, для краткости, мы будем называть неполные структуры в смысле Ивенса структуроидами.

В предлагаемой заметке уточняется объем понятия структуроида, выяснена связь структуроидов с частично упорядоченными множествами и указывается вложение счетных структуроидов в структуроиды с тремя образующими, из чего, в частности, вытекает возможность вложения счетных структур в структуры с тремя образующими.

Если в качестве аксиом структуроида рассмотреть следующую систему  $\Sigma$ :

$$\begin{array}{ll} I_{\cup} a \cup a = a; & I_{\cap} a \cap a = a; \\ A_{\cup} a \cup (b \cup c) = (a \cup b) \cup c; & A_{\cap} a \cap (b \cap c) = (a \cap b) \cap c, \\ K_{\cup} a \cup b = b \cup a, & K_{\cap} a \cap b = b \cap a, \\ C_{\cup}^1 a \cup (a \cap b) = a, & C_{\cap}^1 a \cap (a \cup b) = a, \\ C_{\cup}^2 (a \cap b) \cup a = a, & C_{\cap}^2 (a \cup b) \cup a = a, \\ C_{\cup}^3 a \cup (b \cap a) = a, & C_{\cap}^3 a \cap (b \cup a) = a, \\ C_{\cup}^4 (b \cap a) \cup a = a, & C_{\cap}^4 (b \cup a) \cap a = a, \end{array}$$

то, в то время как для структур существует обилие полных минимальных подсистем, описанных Ю. И. Соркиным <sup>(4)</sup>, для структуроидов имеет место следующая теорема:

**Теорема 1. Системы**

$$\left( I_{\cup}^* \begin{matrix} A_{\cup} K_{\cup} C_{\cup}^i \\ A_{\cap} K_{\cap} C_{\cap}^i \end{matrix} \right); \quad i, j = 1, 2, 3, 4,$$

являются полными и минимальными для структуроидов. Этими подсистемами исчерпываются все полные минимальные подсистемы системы  $\Sigma$  для структуроидов.

\* Определения  $\mathfrak{A}$ -алгебр и неполных  $\mathfrak{A}$ -алгебр см. <sup>(1)</sup>.



Здесь, как и в работе (4), \* означает произвольную операцию  $\cup$  или  $\cap$ .

**Теорема 2.** Если в структуроиде  $R$  положить  $a \geq b$  в том и только том случае, когда  $a \cup b$  определено и равно  $a$ , то  $R$  становится частично упорядоченным множеством относительно соотношения  $\geq$ .

Если мы теперь рассмотрим обратную задачу, т. е. попытаемся определить в частично упорядоченном множестве  $P$  две бинарные частичные операции  $\cup$  и  $\cap$  так, чтобы они удовлетворяли аксиомам  $\Sigma$  и соотношения  $a \geq b$  в  $P$  выполнялись, если и только если  $a \cup b = a$  в структуроиде, то оказывается, что такое определение структуроида на данном частично упорядоченном множестве, вообще говоря, может быть выполнено многими различными способами, каждый из которых мы назовем структуроидозацией частично упорядоченного множества  $P$ . Имеет место

**Теорема 3.** Множество  $Y$  структуроидозаций частично упорядоченного множества  $P$  составляет полную структуру.

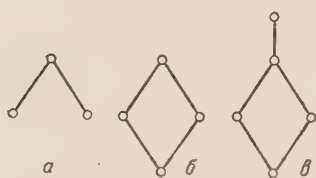


Рис. 1

Нулем структуры  $Y$  является структуроидозация, при которой операции определены лишь для пар сравнимых между собой элементов и равны, соответственно, наименьшей верхней и наибольшей нижней граням пар элементов. Единицей структуры  $Y$  является структуроидозация, при которой операция объединения  $\cup$  определена для всех пар элементов, имеющих наименьшую верхнюю грань, а операция

пересечения  $\cap$  определена для всех пар, имеющих наибольшую нижнюю грань в  $P$ , и равны им соответственно.

Пусть для структуроида  $R$  существует структура  $L(R)$ , содержащая подмножество  $R'$  такое, что между элементами множеств  $R$  и  $R'$  существует взаимно-однозначное соответствие  $\varphi$ , сохраняющее операции, т. е.  $r_1 * r_2 = r_3$  в том и только том случае, когда  $r'_1 * r'_2 = r'_3$ . Это соответствие  $\varphi$  называется вложением структуроида  $R$  в структуру  $L(R)$ .

**Теорема 4.** Всякий структуроид  $R$  вложим в полную структуру  $L(R)$ .

Например, в качестве такой объемлющей структуры  $L(R)$  может быть взята полная структура идеалов структуроида  $R$  относительно теоретико-множественного включения. Под идеалом структуроида  $R$  мы понимаем здесь множество элементов  $M \subset R$  такое, что вместе с каждой парой элементов  $m_1, m_2 \in M$  в  $M$  лежит элемент  $m_1 \cup m_2$ , если он в  $R$  определен, а также все элементы  $x \leq m \in M$ . Заметим, что различные структуроидозации фиксированного частично упорядоченного множества индуцируют, вообще говоря, неизоморфные минимальные объемлющие структуры. Например, частично упорядоченное множество, изображенное на рис. 1а, допускает две различные структуроидозации, при каждой из которых существует лишь по одной объемлющей структуре, причем эти структуры неизоморфны (см. рис. 1б, 1в). В силу теоремы Ивенса (1) и теоремы 4 проблема тождества в структурах разрешима.

Подмножество  $M$  структуроида  $R$  называется системой образующих, если всякий элемент  $r \in R$  либо  $\in M$ , либо может быть получен как результат конечного числа операций, определенных в  $R$  над элементами из  $M$ .

**Теорема 5.** Всякий счетный структуроид  $R$  вложим в структуроид  $S$  с тремя образующими.

Такое вложение осуществляется следующим образом. Пусть структуроид  $R$  состоит из элементов  $r_1, r_2, \dots$  и частичные операции в  $R$  заданы формулами:

$$r_i \cup r_j = r_{u(i, j)}; \quad r_i \cap r_j = r_{v(i, j)}, \quad (1)$$

Рассмотрим множество  $S$ , состоящее из элементов:

$$a, b, c, \alpha_i, \alpha_{-i}, \beta_i, \beta_{-i}, \gamma_i, \gamma_{-i}, \delta_i, \delta_{-i}, \varepsilon_i, \varepsilon_{-i}, x_i, x_{-i}, \lambda_i^i, r_i^i,$$

где  $i, j$  пробегает натуральный ряд, если  $R$  счетно, или значения  $1, 2, \dots, n$ , если  $R$  состоит из  $n$  элементов, и определим на множестве  $S$  частичные операции равенствами (1), равенствами

$$\eta_i \cup \eta_j = \eta_{\max(i, j)}; \quad \eta_i \cap \eta_j = \eta_{\min(i, j)}, \quad (2)$$

где  $\eta$  принимает значения  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, x, a, i$  — целочисленные значения, одновременно положительные или отрицательные, и табл. 1, предполагая при этом, что обе операции коммутативны.

Таблица 1

	$a$	$b$	$c$	$\alpha_i$	$\alpha_{-i}$	$\beta_i$	$\beta_{-i}$	$\gamma_i$	$\gamma_{-i}$	$\delta_i$	$\delta_{-i}$	$\varepsilon_i$	$\varepsilon_{-i}$	$x_i$	$x_{-i}$	$\lambda_i$	$r_i$	
$a$				$\alpha_{-i}$	$\rho_{i,i} a$	$\alpha_{-i}$		$\gamma_{-i}$	$a$	$\gamma_i$	$\alpha_{-i}$		$x_i$		$x_i$	$a$		
$b$				$\beta_i$		$\beta_i$	$b$	$\rho_{i,i} \beta$			$\varepsilon_{-i}$	$b$	$\varepsilon_{-i}$				$r_i$	$r_i$
$c$	$\alpha_{-i}$			$c$	$\alpha_{-i}$			$\delta_i$		$\delta_i$	$c$			$\alpha_{-i}$	$\alpha_{-(i+1)}$			
$\alpha_j$	$\alpha_i$		$\alpha_j$			$\beta_{[i,j]}$		$\rho_{j,i} \gamma_i$	$\rho_{j,i} \gamma_{-i}$	$\delta_i$			$\rho_{j,i} \varepsilon_i$	$\gamma_{j,i} x_i$	$\rho_{j,i} x_i$			
$\alpha_{-j}$	$\rho_{j,i} a$	$\beta_{-j}$	$c$	$\alpha_{-i}$				$\tau_{ji} \alpha_{-j}$	$\rho_{ji} \alpha_{-i}$	$\tau_{ji} \alpha_{-i}$	$\rho_{ji} \alpha_{-j}$	$\alpha_{-j}$	$\rho_{ji} \alpha_{-i}$		$\alpha_{-i}$	$\alpha_{-(j+i)}$	$\tau_{j,i} \alpha_j$	
$\beta_j$	$\gamma_j$	$b$		$\tau_{ij} \alpha_i$			$\beta_j$	$\tau_{ij} \beta_j$			$\rho_{ji} \varepsilon_{-i}$	$\beta_i$	$\rho_{ji} \beta_{-i}$					
$\beta_{-j}$		$\beta_{-j}$			$\beta_{[j,i]}$	$\beta_{-j}$			$\gamma_{-(i,j)}$			$\rho_{ji} \beta_i$	$\varepsilon_{-i}$				$r_i$	
$\gamma_j$	$\gamma_j$			$\tau_{ij} \alpha_i$	$\rho_{ji} \gamma_j$	$\gamma_{(j,i)}$			$\gamma_{-j}$	$\delta_{[i,j]}$					$x_i$			
$\gamma_{-j}$	$a$	$\rho_{j,i} \beta_{-i}$	$\delta_{-j}$	$\rho_{j,i} \alpha_{-i}$	$\rho_{ji} \gamma_j$		$\tau_{ji} \rho_{ji}$	$\gamma_i$			$\tau_{ji} \gamma_j$					$\gamma_{-j}$		
$\delta_j$		$\varepsilon_j$	$c$	$\alpha_i$	$\gamma_{i,i} \delta_j$		$\rho_{ji} \varepsilon_i$	$\tau_{ij} \gamma_i$			$\delta_i$	$\tau_{ij} \delta_j$		$\alpha_{-i}$				
$\delta_{-j}$	$\alpha_{-i}$		$\delta_{-j}$		$\delta_{-j}$				$\delta_{[i,j]}$	$\delta_{-j}$			$\varepsilon_{-(i,j)}$					
$\varepsilon_j$		$\varepsilon_j$			$\rho_{ji} \varepsilon_i$	$\varepsilon_j$	$\rho_{ji} \varepsilon_j$			$\varepsilon_{(i,i)}$			$\varepsilon_{-i}$	$x_{[i,j]}$			$r_i$	
$\varepsilon_{-j}$	$x_{-j}$	$b$		$\rho_{i,i} \alpha_i$		$\rho_{i,i} \beta_i$	$\beta_{-i}$				$\tau_{ji} \delta_i$	$\varepsilon_i$			$\tau_{ji} \varepsilon_{-j}$			
$x_j$	$a$		$\alpha_{j+i}$	$\alpha_{(j+i,i)}$	$\rho_{j,i} \lambda_j$			$\gamma_i$				$\tau_{ij} \varepsilon_i$			$x_j$	$\tau_{ij} x_j$		
$x_{-j}$	$x_{-j}$		$\alpha_i$	$\alpha_i$	$\tau_{i,j+i} x_j$				$x_{-j}$		$\alpha_i$		$x_{[i,j]}$	$x_{-j}$				
$\lambda_j$					$\tau_{j,i} \lambda_j$										$\tau_{ji} \lambda_j$			$\rho_{ji} r_i$
$r_j$		$b$					$\beta_{-i}$					$\varepsilon_i$				$\rho_{ji} r_i$		

В табл. 1 на пересечениях строк и столбцов выше главной диагонали стоят элементы, равные объединению входных элементов, и ниже главной диагонали стоят элементы, равные пересечению входных

элементов. Символ  $\tau_{i,j}\xi$  означает, что при  $i \leq j$  результат равен  $\xi$ , а при  $i > j$  результат не определен; символ  $\rho_{i,j}\xi$  означает, что при  $i = j$  результат равен  $\xi$ , а при  $i \neq j$  результат не определен;  $[i, j] = \max\{i, j\}$  и  $(i, j) = \min\{i, j\}$ . Пустые места в таблице означают, что соответствующие операции не определены в  $S$ .

Легко проверить, что этим  $S$  превращается в структуроид, причем элементы  $a, b, c$  составляют в нем систему образующих.

Из теоремы 5 вытекает ряд следствий.

Следствие 1. *Всякая счетная структура изоморфна подструктуре структуры с тремя образующими.*

Для этого надо структуру  $R$  вложить по теореме 5 в структуроид  $S$ , а затем структуроид  $S$  по теореме 4 вложить в структуру  $L(S)$ .

Следствие 2. *Всякая конечная структура  $R$  изоморфна подструктуре конечной структуры с тремя образующими.*

Действительно, если структура  $R$  состоит из  $n$  элементов, то структуроид  $S$  состоит из  $14n + 3$  элементов, а структура его идеалов не более чем из  $2^{14n+3}$  элементов.

Следствие 3. *Из теоремы 5 вытекает теорема Уитмена (5): свободная структура со счетным множеством свободных образующих изоморфна подструктуре свободной структуры с тремя образующими.*

Относительно теоремы 5 отметим, что аналогичные ей теоремы о вложении счетных алгебраических образований в соответствующие алгебраические образования с конечным числом образующих в настоящее время известны для групп (6), неассоциативных алгебр (7), ассоциативных колец и алгебр (8), проективных плоскостей и систем с одной операцией (9). Все эти теоремы вложения возникли из поставленной А. Г. Курошем (10) соответствующей проблемы для групп. Для структур автору эта задача также была предложена А. Г. Курошем.

Московский государственный  
педагогический институт  
им. В. И. Ленина

Поступило  
29 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Т. Еванс, J. Lond. Math. Soc., 26, 64 (1951). <sup>2</sup> Н. М. MacNeille, Trans. Am. Math. Soc., 42, 416 (1937). <sup>3</sup> Г. Биркгоф, Теория структур, М., 1952, стр. 94. <sup>4</sup> Ю. И. Соркин, Укр. матем. журн., 3, 85 (1951). <sup>5</sup> Р. М. Whitman, Ann. of Math., 43, 105 (1942). <sup>6</sup> G. Higman, В. Н. Neumann, Н. Neumann, J. Lond. Math. Soc., 24, 247 (1949). <sup>7</sup> А. И. Жуков, Матем. сборн., 27:2, 267 (1950). <sup>8</sup> А. И. Мальцев, Усп. матем. наук, 7, 1, 181 (1952). <sup>9</sup> Т. Evans, Proc. Am. Math. Soc., 3, 614 (1952). <sup>10</sup> А. Г. Курош, Теория групп, М.—Л., 1944, стр. 326.

МАТЕМАТИКА

Б. М. УРАЗБАЕВ

ОБ ОДНОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЕ В АЛГЕБРЕ

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 9 II 1954)

Асимптотические формулы в алгебре стали изучаться после исследований Б. Н. Делоне (см. гл. I монографии <sup>(1)</sup>, стр. 21—23). Б. Н. Делоне вывел следующую основную асимптотическую формулу:

$$\nu_{n,\tau} r^{\frac{n(n+1)}{2}} + O\left(r^{\frac{n(n+1)}{2}-1}\right),$$

которая выражает закон роста числа целых точек всех полей алгебраических чисел данной степени  $n$  и сигнатуры  $\tau$ , лежащих внутри  $n$ -мерной сферы радиуса  $r$  с центром в начале координат при возрастании  $r$ . Здесь  $\nu_{n,\tau}$  — некоторая постоянная, зависящая от  $n$  и  $\tau$ .

За координаты точки, соответствующей уравнению с действительными коэффициентами, принимаются действительные корни этого уравнения и полусуммы и полуразности, деленные на  $i$ , комплексно-сопряженных его корней. В дальнейшем Б. Н. Делоне и Д. К. Фаддеевым <sup>(2)</sup> были получены аналогичные формулы для роста числа целых точек, соответствующих уравнениям третьей или четвертой степени с данными группами Галуа, кроме знакопеременной группы для уравнений четвертой степени. Так, например, асимптотическая формула для уравнений третьей степени с циклической группой такова:

$$\nu_{3,z} r^3 \lg r + O(r^3),$$

тогда как аналогичная формула для уравнений третьей степени с симметрической группой

$$\nu_{3,c} r^6 + O(r^5).$$

В настоящей заметке доказывается следующая теорема:

**Т е о р е м а.** Число  $N_l(x)$  циклических полей простой степени  $l$ , дискриминанты которых не превосходят  $x^{l-1}$ , выражается асимптотической формулой

$$N_l(x) = \lambda x + O\left(x^{1-\frac{1}{l-1}+\varepsilon}\right),$$

где  $\lambda$  — постоянная  $\neq 0$ , зависящая от  $l$ ,  $\varepsilon$  — произвольное число  $> 0$ .

При этом используются идеи доказательства асимптотического закона распределения простых чисел в применении к производящей функции, выражающейся через  $L$ -ряды Дирихле <sup>(3,4)</sup> \*.

В дальнейшем нам потребуются следующие предложения.

---

\* Другой вариант доказательства с остаточным членом  $O\left(x^{1-\frac{1}{2(l-1)}+\varepsilon}\right)$  получен А. Г. Постниковым.



Л е м м а 1. Пусть

$$L(s, \chi) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\chi(n)}{n^s};$$

$L$  — ряд Дирихле,  $s = \sigma + it$ ,  $\chi$  — характеры mod  $l$ ,  $1/2 \leq \sigma_0 < 1$ .  
Тогда в полосе  $1/2 \leq \sigma_0 < \sigma < 1$  справедлива оценка

$$|L(s, \chi)| = O\left(|t|^{\frac{1-\sigma}{2}+\varepsilon}\right).$$

Доказательство см. у Тичмарша <sup>(5)</sup>.

Л е м м а 2. Дискриминант  $D$  циклического поля степени  $l$  имеет вид

$$D = (l^\alpha p_1 p_2 \dots p_k)^{l-1},$$

где  $l$  — простое число,  $\alpha = 0$  или  $2$ , а  $p_1, p_2, \dots, p_k$  — простые числа вида  $ml + 1$ .

Л е м м а 3. Число циклических полей степени  $l$ , имеющих дискриминант  $D$ , равно  $(l-1)^k$ , если  $\alpha = 2$ , и  $(l-1)^{k-1}$ , если  $\alpha = 0$ .

Доказательство этих лемм см. в работе автора <sup>(6)</sup>.

Рассмотрим функцию

$$f(s) = \prod_{p \equiv 1 (l)} \left(1 + \frac{l-1}{p^s}\right),$$

где произведение распространяется по всем простым числам  $p \equiv 1 (l)$ . Покажем, что  $f(s)$  регулярна во всей комплексной плоскости, кроме точки  $s = 1$ , где она имеет полюс первого порядка.

В самом деле, утверждение вытекает из соотношений

$$\prod_{\chi} L(s, \chi) = \prod_p \left(1 - \frac{1}{p^{fs}}\right)^{-g} \quad (7), \quad fg = l-1,$$

$$f(s) = \prod_{\chi} L(s, \chi) \prod_{p \equiv 1 (l)} \left(1 + \frac{l-1}{p^s}\right) \left(1 - \frac{1}{p^s}\right)^{l-1} \prod_{p \not\equiv 1 (l)} \left(1 - \frac{1}{p^{fs}}\right)^g,$$

ибо оба произведения справа сходятся абсолютно при  $\sigma > 1/2$ , а  $L(s, \chi)$  — целая функция, если  $\chi$  отличен от главного характера  $\chi_0$ .

В силу  $L(s, \chi_0) = \left(1 - \frac{1}{l^s}\right) \zeta(s)$  точка  $s = 1$  есть полюс первого порядка  $f(s)$ . Функция  $f(s)$  регулярна в полуплоскости  $\sigma > 1$  и по принципу аналитического продолжения она регулярна всюду, кроме точки  $s = 1$ , где она имеет полюс первого порядка с вычетом

$$\lambda = \left(1 - \frac{1}{l}\right) \prod_{p \equiv 1 (l)} \left(1 + \frac{-1}{p}\right) \left(1 - \frac{1}{p}\right)^{l-1} \prod_{p \not\equiv 1 (l)} \left(1 - \frac{1}{p}\right)^g \lim_{s \rightarrow 1} \prod_{\chi \neq \chi_0} L(s, \chi)^* ; \quad (1)$$

$f(s)$  — искомая производящая функция. Имеем:

$$f(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I(n)}{n^s}, \quad I(n) = \begin{cases} (l-1)^k, & \text{если } n = p_1 p_2 \dots p_k, \\ & p_i \equiv 1 (l), \\ 0, & \text{если } n \neq p_1 p_2 \dots p_k. \end{cases} \quad (2)$$

\* По теореме Дирихле о простых числах в прогрессии предел существует и отличен от нуля.

Сумматорной функцией коэффициентов для  $f(s)$  является

$$\varphi(x) = \sum_{n \leq x} I(n).$$

Доказательство теоремы равносильно, как показывает лемма 3, асимптотической оценке суммы  $\varphi(x)$ . Обычно вместо  $\varphi(x)$  рассматривают функцию

$$\varphi_1(x) = \int_1^x \varphi(u) du.$$

Справедливо равенство (см. (3), теорема А, стр. 28)

$$\frac{\varphi_1(x)}{x} = \sum_{n \leq x} \left(1 - \frac{n}{x}\right) I(n). \quad (3)$$

Согласно лемме 1 в полосе  $1/2 \leq \sigma_0 < \sigma < 1$

$$|f(s)| = O\left(|t|^{\left(\frac{1-\sigma}{2} + \varepsilon\right)(l-1)}\right). \quad (4)$$

Интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds$$

абсолютно сходится при  $a > 1$  и сходится при  $a = 1 - \frac{2}{l-1} + \varepsilon$ , так как из (4)

$$\left| \frac{f(s)}{s(s+1)} \right| = O(|t|^{-1-\varepsilon}), \quad \varepsilon > 0.$$

Рассмотрим интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds$$

по замкнутому контуру  $\Gamma$ , представляющему четырехугольник  $(a - iT, 2 - iT, 2 + iT, a + iT)$ ,  $a = 1 - \frac{2}{l-1} + \varepsilon$ .

Подинтегральная функция не имеет особенностей ни на контуре  $\Gamma$ , ни внутри этого контура, кроме точки  $s = 1$  — полюса первого порядка с вычетом  $\frac{\lambda}{2} x$ .

По теореме Коши

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{a-iT}^{2-iT} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds + \frac{1}{2\pi i} \int_{2-iT}^{2+iT} \text{idem} + \frac{1}{2\pi i} \int_{2+iT}^{a+iT} \text{idem} + \frac{1}{2\pi i} \int_{a+iT}^{a-iT} \text{idem} = \frac{\lambda}{2} x.$$

Согласно лемме 1 и оценке (4) интегралы на отрезках  $(a - iT, 2 - iT)$ ,  $(2 + iT, a + iT)$  имеют порядок  $O(T^{-1-\varepsilon})$ ,  $\varepsilon > 0$ , поэтому они  $\rightarrow 0$  при  $T \rightarrow \infty$ .

Итак, при  $T \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds = \frac{\lambda}{2} x + \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds, \quad a = 1 - \frac{2}{l-1} + \varepsilon. \quad (5)$$

Интеграл слева (5) абсолютно сходится и, кроме того, при  $\sigma = 2$  равномерно сходится ряд (2), следовательно:

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds = \sum_{n=1}^{\infty} I(n) \frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \left(\frac{x}{n}\right)^s ds.$$



Отсюда (см. (3), теорема В, стр. 43)

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds = \sum_{n \leq x} \left(1 - \frac{n}{x}\right) I(n). \quad (6)$$

Интеграл справа (5) есть величина порядка  $O(x^{1+\alpha})$ , следовательно, из (3), (5), (6) находим

$$\varphi_1(x) = \frac{\lambda}{2} x^2 + O\left(x^{2-\frac{2}{l-1}+\varepsilon}\right), \quad \varepsilon > 0. \quad (7)$$

Функция  $\varphi(x)$  — возрастающая, и поэтому

$$\frac{1}{h} \int_{x-h}^x \varphi(u) du \leq \varphi(x) \leq \frac{1}{h} \int_x^{x+h} \varphi(u) du.$$

Эти неравенства (см. (3), теорема 22, стр. 83) вместе с (7) дают искомую асимптотическую оценку

$$\varphi(x) = \lambda x + O\left(x^{1-\frac{1}{l-1}+\varepsilon}\right),$$

где  $\lambda$  определяется формулой (1).

Этим теорема доказана, так как  $N_l(x)$  получается из  $\varphi(x)$  делением на  $l-1$ , если ограничиться значением  $\alpha = 0$ .

Пользуясь полученной теоремой, можно доказать следующее предложение (6):

**Т е о р е м а.** Число целых точек циклических полей простой степени  $l$ , лежащих внутри  $l$ -мерной сферы радиуса  $r$  с центром в начале координат, выражается асимптотической формулой

$$v_3 r^3 \lg r + O(r^3),$$

если  $l=3$ , и формулой

$$v_l r^l + O(r^{l-1}),$$

если  $l > 3$ .

В заключение считаем приятным долгом выразить благодарность А. О. Гельфонду и Д. К. Фаддееву за ценные советы и указания.

Математический институт  
им. В. А. Стеклова  
Академии наук СССР

Поступило  
18 XI 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Н. Делоне, Д. К. Фаддеев, Тр. Матем. ин-та им. Стеклова, **11** (1940).  
<sup>2</sup> Д. К. Фаддеев, Изв. АН СССР, сер. матем., **4**, № 1, 133 (1940). <sup>3</sup> А. Ингам, Распределение простых чисел, 1936. <sup>4</sup> Н. Г. Чудаков, Введение в теорию  $L$ -функций Дирихле, 1947. <sup>5</sup> Е. К. Тичмарш, Дзета-функция Римана, 1947.  
<sup>6</sup> Б. М. Уразбаев, Изв. АН Казахск. ССР, сер. матем.-мех., в. 5 (1951). <sup>7</sup> Г. Хассе, Лекции по теории чисел, 1953, стр. 260.

Действительный член АН УССР А. Ю. ИШЛИНСКИЙ

# ОБ УРАВНЕНИИ ПРОДОЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ КАНАТА (УПРУГОЙ НИТИ) ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ

Для решения задачи о движении груза массы  $m$  на упругом канате переменной длины (см. рис. 1) следует проинтегрировать дифференциальное уравнение

$$\rho F \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{d^2 \xi}{dt^2} \right) = EF \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho F g \quad (1)$$

при граничных условиях

$$u(0, t) = 0, \quad (2)$$

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = -EF \frac{\partial u(0, t)}{\partial x} + mg, \quad (3)$$

$$\frac{\partial u(l, t)}{\partial t} - \frac{d\xi}{dt} = v, \quad (4)$$

причем должны быть также удовлетворены начальные условия, касающиеся расположения и скоростей элементов каната в момент времени  $t = t_0$ .

Здесь  $\rho$  — объемная плотность ненапряженного каната;  $\xi$  — расстояние груза от точки схода каната с колеса;  $EF$  — жесткость каната растяжению;  $F$  — его поперечное сечение;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $x$  — лагранжева координата элементов каната, представляющая собой длину каната между данным элементом и грузом в предположении, что канат не натянут;  $u(x, t)$  — смещение элемента каната относительно груза вследствие деформации каната;  $l$  — лагранжева координата верхнего элемента каната.

Очевидно, что

$$\xi = l + u(l, t). \quad (5)$$

Условие (4) выражает равенство между скоростью элемента каната, приходящего в соприкосновение с ободом колеса (или, наоборот, покидающего колесо), и окружной скоростью этого колеса. При этом предполагается, что скольжение каната по колесу отсутствует. Впрочем, пользуясь результатами Н. Е. Жуковского в его исследовании о скольжении ремня на шкиве <sup>(1)</sup>, можно отказаться от последнего предположения и соответственно видоизменить условие (4).

Граничное условие (3) представляет собой уравнение движения груза под действием силы натяжения каната и силы тяжести. Уравнение (1) с соответствующими граничными и начальными условиями описывает движение элементов каната и груза как механической системы с бесконечным числом степеней свободы.

Наблюдения Г. Н. Савина, однако, показывают <sup>(2)</sup>, что если оставить в стороне мгновения времени, непосредственно следующие за резким изменением окружной скорости колеса или резким изменением величины груза, движение элементов каната не имеет волнового характера и происходит с качественной стороны так, как будто бы канат был лишен массы.



В последнем случае имеем

$$u(x, t) = x\varphi(t), \quad (6)$$

где  $\varphi(t)$  — некоторая подлежащая определению функция времени.

Причину затухания волновых движений следует искать во внутреннем трении каната, которое в уравнении (1) не учитывается. Заметим, что учет внутреннего трения приводит задачу к решению дифференциального уравнения в частных производных более высокого порядка (2).

Вследствие вышеизложенного можно искать приближенное решение задачи, принимая для искомой функции  $u(x, t)$  представление (6).

Задачей дальнейшего является построение обыкновенного дифференциального уравнения для функции  $\varphi(t)$ .

При составлении приближенных уравнений следует по возможности избегать дифференцирования приближенных представлений, так как это неизбежно ведет к значительной утере точности. Поэтому предварительно умножим правую и левую части уравнения (1) на  $x$  и проинтегрируем в пределах от  $x=0$  до  $x=l$ , минимизируя тем самым невязку от последующей замены в этом уравнении точного значения  $u(x, t)$  приближенным и избавляясь, кроме того, в результате интегрирования по частям от второй производной функции  $u(x, t)$  по переменной  $x$ . Учитывая граничные условия (2), получим

$$\rho F \int_0^l x \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} dx - \rho F \frac{l^2}{2} \frac{d^2 \xi}{dt^2} = EFl \frac{\partial u(l, t)}{\partial x} - EFu(l, t) - \rho Fg \frac{l^2}{2}. \quad (7)$$

Непосредственное интегрирование правой и левой частей уравнения (1) по переменной  $x$  приводит к равенству

$$\rho F \int_0^l \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} dx - \rho Fl \frac{d^2 \xi}{dt^2} = EF \left[ \frac{\partial u(l, t)}{\partial x} - \frac{\partial u(0, t)}{\partial x} \right] - \rho Fgl, \quad (8)$$

которое вместе с граничным условием (3) позволяет исключить частную производную от функции  $u$  по переменной  $x$  в соотношении (7). В результате получим равенство

$$\begin{aligned} \left( ml + \frac{1}{2} \rho Fl^2 \right) \frac{d^2 \xi}{dt^2} - \rho F \int_0^l (l-x) \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} dx = \\ = -EFu(l, t) + \left( ml + \frac{1}{2} \rho Fl^2 \right) g. \end{aligned} \quad (9)$$

Продифференцируем теперь по времени граничное условие (4), учитывая, что длина рабочей части каната  $l$  является переменной величиной. Имеем

$$\frac{\partial^2 u(l, t)}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u(l, t)}{\partial x \partial t} \frac{dl}{dt} - \frac{d^2 \xi}{dt^2} = \frac{d^2 v}{dt^2}. \quad (10)$$

Исключая теперь из равенства (9) вторую производную от функции  $\xi$  по времени, приходим к следующему основному интегро-дифференциальному соотношению:

$$\begin{aligned} \left( m + \frac{1}{2} \rho Fl \right) l \frac{\partial^2 u(l, t)}{\partial t^2} + \left( m + \frac{1}{2} \rho Fl \right) l \frac{dl}{dt} \frac{\partial^2 u(l, t)}{\partial x \partial t} - \\ - \rho F \int_0^l (l-x) \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} dx + EFu(l, t) = \left( m + \frac{1}{2} \rho Fl \right) \left( \frac{dv}{dt} + g \right) l. \end{aligned} \quad (11)$$

В этом соотношении окружная скорость колеса  $v$  и длина рабочей части каната  $l$  связаны равенством

$$\left[1 + \frac{\partial u(l, t)}{\partial x}\right] \frac{dl}{dt} = -v, \quad (12)$$

которое нетрудно получить, исключая функцию  $\xi$  из соотношений (4) и (5).

Вторым членом в квадратных скобках равенства (12) можно пренебречь, так как он в реальных условиях на три порядка меньше единицы.

Подставим в интегро-дифференциальное соотношение (11) приближенное представление функции  $u(x, t)$  согласно равенству (6). После очевидных преобразований придем к обыкновенному линейному дифференциальному уравнению

$$\left(m + \frac{1}{3} \rho Fl\right) l \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \left(m + \frac{1}{2} \rho Fl\right) \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + EF\varphi = \left(m + \frac{1}{2} \rho Fl\right) \left(\frac{dv}{dt} + g\right), \quad (13)$$

которое можно положить в основу приближенного решения задач об идеально упругом канате переменной длины.

Если пренебречь собственной массой каната, т. е. считать  $\rho = 0$ , то уравнение (13) обращается в уравнение, исследованное Н. П. Нероновым<sup>(4)</sup>.

В другом частном случае  $l = \text{const}$  (и, следовательно,  $v = 0$ ) приходим к приближенному уравнению основного тона колебания груза на упругой нити с известной поправкой Релея, учитывающей собственную массу нити.

Заметим, что непосредственное применение метода Релея к составлению приближенных уравнений каната переменной длины встречает затруднения, обусловленные сложностью граничных условий, а также тем обстоятельством, что уравнения Лагранжа второго рода справедливы лишь для систем, масса которых в процессе движения не изменяется.

Приемом, аналогичным вышеизложенному, можно получать интегро-дифференциальные соотношения и приближенные уравнения для канатов переменной длины с учетом несовершенной упругости.

Поступило  
29 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Е. Жуковский, О скольжении ремня на шкивах, **3**, 1949, стр. 497.  
<sup>2</sup> А. Ю. Ишлинский, Прикладн. матем. и мех., в. 1, 79 (1940). <sup>3</sup> Г. Н. Савин, Докл. АН УССР, № 6 (1951). <sup>4</sup> Н. П. Неронов, Тр. Совещ. по шахтным подъемным канатам, 1944.





Е. П. ПОПОВ

## К ПРИБЛИЖЕННОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ АВТОКОЛЕБАНИЙ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 20 I 1954)

Метод гармонического баланса Н. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова<sup>(1)</sup> применяется в теории автоматического регулирования<sup>(2-7)</sup> главным образом к системам, нелинейность которых состоит в том, что в обыкновенных дифференциальных уравнениях какие-либо две переменные связаны однозначной или двузначной (гистерезисной) нелинейной зависимостью вида  $x_2 = F(x_1)$ . В диссертации<sup>(8)</sup> и мною разными путями было дано некоторое расширение круга решаемых этим методом задач. Здесь приводится дальнейшее обобщение на основе непосредственной «гармонической линеаризации» нелинейностей в заданной системе уравнений (без обычно применяемых предварительных структурных построений) с последующим использованием аналитического условия существования периодического решения.

Рассмотрим следующие три класса нелинейных систем.

Первый класс. Свободные колебания системы автоматического регулирования описываются линейным дифференциальным уравнением любого порядка с постоянными коэффициентами

$$Q(p)x_1 = R(p)x_2 \quad \left(p \equiv \frac{d}{dt}\right) \quad (1)$$

и нелинейным уравнением, которое имеет одну из следующих форм:

$$x_2 = F(x_1, \dot{x}_1), \quad F(\dot{x}_2, x_2) = k_1 x_1, \quad F(\ddot{x}_2, \dot{x}_2) = k_1 x_1, \quad (2)$$

$$F_1(\ddot{x}_2) + c_1 \dot{x}_2 + F(x_2) = k_1 x_1, \quad c_1 \ddot{x}_2 + F_1(\dot{x}_2) + F(x_2) = k_1 x_1,$$

или другую аналогичную форму, когда под знаком нелинейных функций стоит только одна переменная и, возможно, ее производные по времени. Нелинейные функции могут быть плавными, ломаными или скачкообразными (релейными), они могут обладать гистерезисными петлями.

Второй класс. Система описывается уравнением (1) и уравнением, аналогичным (2), содержащим нелинейные функции двух переменных и, возможно, их производных:

$$F_1(x_1) + F_2(x_2) \quad \text{или} \quad F_1(x_1) + F_2(\dot{x}_2, x_2), \quad (3)$$

$$F(\dot{x}_2, x_1) \quad \text{или} \quad F(\dot{x}_2, x_2, x_1) \quad \text{и т. п.}$$

Третий класс. Сюда относятся такие случаи, когда, кроме линейных уравнений, имеются два или несколько нелинейных, связывающих между собой более двух переменных.

Во всех случаях ищется одночастотное периодическое решение.

Для систем первого класса искомое периодическое решение записывается в виде  $x = a \sin \omega t$ , где для первого из уравнений (2)  $x = x_1$ , для второго, четвертого и пятого  $x = x_2$ , для третьего  $x = x_2$ .

Учитывая только первую гармонику, заменяем приближенно

$$F(x, \dot{x}) \approx q(a, \omega) x + \frac{q_1(a, \omega)}{\omega} \dot{x}, \quad F_1(\ddot{x}) \approx -\frac{q_2(a, \omega)}{\omega^2} \ddot{x}, \quad (4)$$

где коэффициенты  $q(a, \omega)$ ,  $q_1(a, \omega)$ ,  $q_2(a, \omega)$  определяются формулами

$$q(a, \omega) = \frac{1}{\pi a} \int_0^{2\pi} F(a \sin u, a\omega \cos u) \sin u \, du,$$

$$q_1(a, \omega) = \frac{1}{\pi a} \int_0^{2\pi} F(a \sin u, a\omega \cos u) \cos u \, du,$$

$$q_2(a, \omega) = \frac{1}{\pi a} \int_0^{2\pi} F_1(-a\omega^2 \sin u) \sin u \, du,$$

при условии

$$\int_0^{2\pi} F(a \sin u, a\omega \cos u) \, du = 0, \quad \int_0^{2\pi} F_1(-a\omega^2 \sin u) \, du = 0$$

(метод может быть развит и на случай невыполнения последних равенств). Приближенная замена (4) называется гармонической линеаризацией.

Для систем второго класса искомое периодическое решение записывается в виде  $x_2 = a \sin \omega t$ ,  $x_1 = A(\omega) a \sin[\omega t + B(\omega)]$ , где

$$A(\omega) = \left| \frac{R(i\omega)}{Q(i\omega)} \right|, \quad B(\omega) = \arg \frac{R(i\omega)}{Q(i\omega)}. \quad (5)$$

При этом, например, второе из выражений (3) заменяется приближенно:

$$F_1(\dot{x}_1) + F_2(\dot{x}_2, x_2) \approx q^*(a, \omega) x_1 + q(a, \omega) x_2 + \frac{q_1(a, \omega)}{\omega} \dot{x}_2,$$

где

$$q^*(a, \omega) = \frac{1}{\pi A(\omega) a} \int_0^{2\pi} F_1[A(\omega) a \sin u] \sin u \, du,$$

если функция  $F_1(x_1)$  однозначна (для гистерезисной функции добавляется член, содержащий  $\dot{x}_1$ ).

В четвертом из выражений (3) предварительно заменяется:

$$x_1 = \xi(\omega) x_2 + \frac{\xi_1(\omega)}{\omega} \dot{x}_2, \quad \text{где } \xi(\omega) = A(\omega) \cos B(\omega), \quad \xi_1(\omega) = A(\omega) \sin B(\omega),$$

после чего используется первая из формул (4).

Аналогичные приемы гармонической линеаризации применяются и для систем третьего класса, причем искомое периодическое решение для одной из переменных записывается в виде  $x = a \sin \omega t$  и привлекаются соответствующие соотношения вида (5) для остальных переменных.

Для отыскания периодического решения (автоколебаний) после замены (4) составляется характеристическое уравнение системы (1)–(2) в виде

$$L(p) \equiv M(p) S(a, \omega, p) + N(p) = 0, \quad (6)$$

где  $a$  и  $\omega$  — искомые амплитуда и частота периодического решения,

входящие в коэффициенты уравнения. Затем подставляется  $p = i\tilde{\omega}$  и выделяются вещественная и мнимая части:

$$L(i\tilde{\omega}) = X(a, \omega, \tilde{\omega}) + iY(a, \omega, \tilde{\omega}). \quad (7)$$

Последнее аналогично выражению кривой Михайлова в линейной теории регулирования. Следовательно, условием существования периодического решения является выполнение равенств

$$X(a, \omega) = 0, \quad Y(a, \omega) = 0 \quad (8)$$

(причем  $\tilde{\omega} = \omega$ ) при вещественных положительных значениях для  $a$  и  $\omega$ .

Основными задачами теории регулирования в данном вопросе являются: 1) определение областей значений параметров системы регулирования, внутри которых существует периодическое решение; 2) определение зависимости амплитуды и частоты периодического решения от значений параметров и 3) выделение устойчивых периодических решений.

Первые две задачи решаются на основании уравнений (8), причем все параметры системы входят в коэффициенты уравнения (6), а следовательно, и (8). Если требуется решить первые две задачи по некоторому параметру  $k$ , то (8) записывается в виде  $X(a, \omega, k) = 0$ ,  $Y(a, \omega, k) = 0$ , откуда определяются  $a = a(k)$  и  $\omega = \omega(k)$ . Для решения той же задачи по двум параметрам  $k_1$  и  $k_2$  имеем  $X(a, \omega, k_1, k_2) = 0$ ,  $Y(a, \omega, k_1, k_2) = 0$ . Данный способ, как и все другие варианты метода гармонического баланса, является приближенным, поскольку здесь принимается во внимание лишь первая гармоника нелинейных колебаний. Однако при исследовании систем автоматического регулирования он дает хорошие результаты, так как обычно все высшие гармоники действительно не пропускаются в системе (чаще сервомотором и объектом регулирования). Это обстоятельство может быть оценено количественно на основании соотношений вида (5) для соответствующих переменных (после того как найдены  $\omega$  и  $a$ ).

Таким же способом определяются и вынужденные колебания нелинейной системы с частотой внешнего периодического воздействия. Последнее задается в виде  $x_0 = c_0 \sin \omega_0 t$ . Вместо (1) имеем здесь уравнение

$$Q(p)x_1 = R(p)x_2 + P(p)x_0.$$

Искомые вынужденные колебания записываются в виде  $x = a_0 \sin(\omega_0 t - \varphi)$ , где  $x$  обозначает ту переменную из двух:  $x_1$ ,  $x_2$ , которая стоит под знаком нелинейной функции в уравнении (2). Применяя гармоническую линеаризацию нелинейностей и используя соотношение

$$x_0 = \left( \frac{c_0 \cos \varphi}{a_0} + \frac{c_0 \sin \varphi}{a_0 \omega_0} p \right) x,$$

находим вместо (6) характеристическое уравнение вида

$$L(p) \equiv M(p)S(a_0, \omega_0, p) + N(p) - \left( \frac{c_0 \cos \varphi}{a_0} + \frac{c_0 \sin \varphi}{a_0 \omega_0} p \right) H(p) = 0,$$

на основании которого прежним путем получаем два уравнения:

$$X(a_0, \omega_0, c_0, \varphi) = 0, \quad Y(a_0, \omega_0, c_0, \varphi) = 0,$$

определяющие  $a_0$  и  $\varphi$ , а также пороговые значения  $c_0$ , выше которых имеют место вынужденные колебания с частотой внешнего воздействия  $\omega_0$ . Эти же уравнения определяют зависимость указанных величин от параметров системы.



Выделение устойчивых периодических решений (автоколебаний и вынужденных колебаний) производится приближенно путем осреднения периодических коэффициентов, как у Б. В. Булгакова<sup>(9,10)</sup>, или путем использования критерия

$$\left(\frac{\partial X}{\partial a}\right)^0 \left(\frac{\partial Y}{\partial \tilde{\omega}}\right)^0 - \left(\frac{\partial Y}{\partial a}\right)^0 \left(\frac{\partial X}{\partial \tilde{\omega}}\right)^0 > 0, \quad (9)$$

где  $X(a, \omega, \tilde{\omega})$  и  $Y(a, \omega, \tilde{\omega})$  берутся из (7).

В диссертации<sup>(11)</sup> доказано, что для определенного класса систем автоматического регулирования осреднение периодических коэффициентов приводит к необходимым и достаточным условиям устойчивости периодического решения. Хотя таких доказательств пока нет для других классов систем, но известно, что указанные выше критерии дают в большинстве случаев правильные результаты. Строгое исследование устойчивости периодического решения по Ляпунову<sup>(12)</sup> разработано пока только для простейших (релейных) систем.

Опыт и рассмотрение конкретных примеров, проиллюстрированное в докладе автора на 2-м Всесоюзном совещании по теории автоматического регулирования (27 XI 1953 г.), показало практическую эффективность изложенного метода. Привлечение дополнительных физических соображений после отыскания периодических решений позволяет выделить также и области устойчивости равновесного состояния системы. Заметим, что в данном методе легко учитывается и постоянное по времени запаздывание  $\tau$ , если оно в исследуемой системе имеется.

Поступило  
20 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. М. Крылов, Н. Н. Боголюбов, Введение в нелинейную механику, Киев, 1937. <sup>2</sup> В. А. Котельников, Тр. ЛИИ, № 2 (1941). <sup>3</sup> Л. С. Гольдфарб, Автоматика и телемеханика, № 5 (1947). <sup>4</sup> В. А. Боднер, Тр. ВВИА, в. 221 (1947). <sup>5</sup> Г. С. Поспелов, Тр. ВВИА, в. 335 (1949). <sup>6</sup> А. И. Лурье, Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования, М.—Л., 1951. <sup>7</sup> М. А. Айзерман, Инж. сборн., 13 (1952). <sup>8</sup> Л. С. Гольдфарб, Диссертация, М., 1947. <sup>9</sup> Б. В. Булгаков, Прикладн. матем. и мех., № 4 (1942). <sup>10</sup> А. М. Летов, Тр. НИСО, № 11, 1946. <sup>11</sup> А. М. Летов, Диссертация, М., 1945. <sup>12</sup> А. М. Ляпунов, Общая задача об устойчивости движения, М.—Л., 1950.

А. Х. МИРЗАДЖАНЗАДЕ

## НЕСТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 22 I 1954)

Решению задач нестационарного движения вязко-пластичного тела посвящен ряд работ (<sup>1-7</sup>). В настоящей статье рассматривается нестационарное движение вязко-пластичной жидкости в цилиндрической трубе круглого поперечного сечения. В этом случае

$$v_r = v_\varphi = 0, \quad \frac{\partial v_z}{\partial \varphi} = 0.$$

Из уравнения неразрывности следует, что

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0.$$

При этом основные дифференциальные уравнения движения вязко-пластичной жидкости (<sup>1, 8-10</sup>) примут вид:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \eta \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \frac{\tau_0}{r} - \rho \frac{\partial v}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{\partial P}{\partial \varphi} = 0. \quad (2)$$

Из (2) видно, что  $P$  зависит только от  $z$  и  $t$ .

В уравнении (1) левая часть не зависит от  $r$ , а правая часть не зависит от  $z$ . Таким образом, левая и правая части являются функциями одного только  $t$ . Тогда

$$\frac{\partial P}{\partial z} = f(t). \quad (3)$$

Рассмотрим сначала случай, когда  $f(t) = 0$ ; тогда уравнение (1) примет вид:

$$\eta \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \frac{\tau_0}{r} = \frac{\partial v}{\partial t} \rho. \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) представляет собой линейное неоднородное дифференциальное уравнение параболического типа.

Будем считать распределение скоростей в начальный момент известным, тогда начальное условие будет:

$$v(r, 0) = F\left(\frac{r}{R}\right). \quad (5)$$

Рассмотрим теперь, каким образом должны формулироваться краевые условия при движении вязко-пластичной жидкости в цилиндрической трубе круглого поперечного сечения.

Как известно, при движении вязко-пластичной жидкости в трубе, наряду с вязко-пластичной областью течения имеется область пластичного течения. Уравнение (1), так же как и основные дифференциальные уравнения движения, описывает лишь вязко-пластичную

область течения. Поэтому при решении задачи о стационарном движении вязко-пластичной жидкости в цилиндрической трубе круглого поперечного сечения <sup>(10)</sup> мы краевое условие задавали исходя из того, что в области пластичного течения скорость движения с определенным приближением можно принять постоянной, т. е.  $\partial v / \partial r = 0$ ; радиус ядра (ядро — область пластического течения)  $r_0 = 2\tau_0 / P$ .

Следует отметить, что Н. В. Тябин <sup>(11)</sup> при определении произвольных постоянных пользуется условием ограниченности скорости движения на оси трубы, т. е. считает, что как дифференциальное уравнение, так и полученное решение охватывают всю область движения. Очевидно, это противоречит физике явления. В самом деле, скорость при стационарном движении вязко-пластичной жидкости в цилиндрической трубе круглого поперечного сечения может быть определена из выражения

$$v = \frac{P}{4\eta} (R^2 - r^2) - \frac{\tau_0}{\eta} (R - r). \quad (6)$$

Из этого выражения для скорости следует, что при  $r = r_0 = 2\tau_0 / P$  скорость имеет максимум и при значениях  $R / r_0 < 2$  скорость на оси трубы отрицательна, что противоречит физике явления.

Исходя из вышеизложенного и принимая, что радиус ядра не будет зависеть от времени, краевые условия запишем так:

$$v(R, t) = 0, \quad \frac{\partial v(r_0, t)}{\partial r} = 0. \quad (7)$$

Будем искать решение уравнения (4) в виде разложения в ряд по функциям  $Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right)$ :

$$v(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right], \quad (8)$$

где  $J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right)$  — функция Бесселя первого рода нулевого порядка.  $Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right)$  — функция Неймана — Бесселя второго рода нулевого порядка.

Как известно <sup>(12)</sup>, асимптотические формулы для собственных функций позволяют доказать, что разложение по собственным функциям сходится при тех же условиях, что и разложение в ряд Фурье по косинусам.

Так как функция  $\tau_0 / \rho r$  удовлетворяет условиям Дирихле на интервале  $(r_0, R)$ , то ее ряд Фурье сходится при всех значениях  $r$  к ней <sup>(15)</sup>.

На основании вышеизложенного разложим  $\tau_0 / r$ ,  $r_0 \leq r \leq R$ , в ряд по функциям  $Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right)$ :

$$\frac{\tau_0}{\rho r} = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right]; \quad (9)$$

$$a_n = \frac{\tau_0}{H_n R^2 \rho} \int_{r_0/R}^1 \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right] dr; \quad (10)$$

$$H_n = \frac{1}{R^2} \int_{r_0/R}^1 r \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right]^2 dr. \quad (11)$$



Используя краевое условие  $\partial v(r_0, t)/\partial r = 0$ , получим характеристическое уравнение для определения  $\alpha_n$ :

$$J_1\left(\alpha_n \frac{r_0}{R}\right) Y_0(\alpha_n) - J_0(\alpha_n) Y_1\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) = 0.$$

Формула для определения  $\alpha_n$  при значениях  $r_0/R$ , близких к 1, приведена в монографии С. М. Тарга<sup>(14)</sup>.

Подставив (8) и  $\tau_0/r$  из (9) в (4), будем иметь:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right] \left[ -\eta \frac{\alpha_n^2}{R^2 \rho} v_n(t) - v'_n(t) - a_n \right] = 0. \quad (12)$$

Уравнение (12) будет удовлетворено, если все коэффициенты разложения равны нулю, т. е.

$$v'_n(t) + \frac{\alpha_n^2}{R^2 \rho} \eta v_n(t) + a_n = 0. \quad (13)$$

Решая обыкновенное дифференциальное уравнение (13), получим:

$$v_n(t) = C'_n e^{-\frac{\alpha_n^2}{R^2 \rho} \eta t} - \frac{a_n R^2 \rho}{\alpha_n^2 \eta}. \quad (14)$$

Подставив (14) в (8), получим:

$$v(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left( C'_n e^{-\frac{\alpha_n^2}{R^2 \rho} \eta t} - \frac{a_n R^2 \rho}{\alpha_n^2 \eta} \right) \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right].$$

Требуя выполнения начальных условий, получаем:

$$v(r, 0) = F\left(\frac{r}{R}\right) = \sum_{n=1}^{\infty} \left( C'_n - \frac{a_n R^2 \rho}{\alpha_n^2 \eta} \right) \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right], \quad (15)$$

т. е.  $C'_n - \frac{a_n R^2 \rho}{\alpha_n^2 \eta}$  являются коэффициентами функции  $F\left(\frac{r}{R}\right)$  при разложении ее в ряд по функциям  $Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right)$  на интервале  $(r_0, R)$ . Следовательно,

$$C'_n = \frac{a_n R^2 \rho}{\alpha_n^2 \eta} + \frac{1}{H'_n R^2} \int_{r_0/R}^1 r F\left(\frac{r}{R}\right) \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right] dr;$$

$$H'_n = \frac{1}{R^2} \int_{r_0/R}^1 r \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right]^2 dr.$$

В случае  $\partial P/\partial z = \text{const}^*$   $r_0 = 2l\tau_0/P$  и выражения для  $a_n$  и  $H_n$  примут вид:

$$a_n = \frac{1}{H_n R^2 \rho} \int_{r_0/R}^1 \left( \tau_0 - \frac{Pr}{l} \right) \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right] dr.$$

$$H_n = \frac{1}{R^2} \int_{r_0/R}^1 r \left[ Y_0(\alpha_n) J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) - J_0(\alpha_n) Y_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right) \right]^2 dr.$$

\* Рассмотрен И. С. Громека<sup>(15)</sup> для неустановившегося течения вязкой жидкости в круглой трубе.

Для нахождения расхода воспользуемся выражением

$$Q = 2\pi \int_{r_0}^R v r dr + \pi r_0^2 v(r_0, t). \quad (16)$$

В случае  $f(t) \neq 0$  введем вместо  $v$  новую функцию  $\bar{v}$ , положив <sup>(16)</sup>

$$\bar{v} = v + \int_0^t f(t) dt;$$

тогда  $\bar{v}$  будет удовлетворять уравнению (4). В этом случае краевые условия примут вид:

$$\bar{v}(R, t) = \mu(t) = \int_0^t f(t) dt; \quad \frac{\partial \bar{v}(2\tau_0, f(t), t)}{\partial r} = 0.$$

Таким образом, будем иметь краевую задачу с подвижной границей.

Считаем своим долгом выразить искреннюю признательность проф. З. И. Халилову за ряд ценных указаний.

Поступило  
17 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. А. Ильюшин, Тр. конференции по пластическим деформациям, 1936.  
<sup>2</sup> В. В. Соколовский, Прикладн. матем. и мех., 13, в. 6 (1949). <sup>3</sup> А. М. Кочетков, там же, 14, в. 2 (1950). <sup>4</sup> Ф. А. Бахшиян, там же, 12, в. 1 (1948).  
<sup>5</sup> И. Н. Зверев, там же, 14, в. 3 (1950). <sup>6</sup> А. Ю. Ишлинский, там же, 4, в. 1 (1940). <sup>7</sup> А. Н. Герасимов, там же, 1, в. 4 (1938). <sup>8</sup> А. А. Ильюшин, Уч. зап. МГУ, в. 39 (1940). <sup>9</sup> А. М. Гуткин, Трение и износ в машинах, 1, Изд. АН СССР, М.—Л., 1947. <sup>10</sup> А. Х. Мирзаджанзаде, А. Ф. Касимов, Докл. АН Азерб. ССР, 3, № 10 (1952). <sup>11</sup> Н. В. Тябин, Колл. журн., 13, 1 (1931). <sup>12</sup> Б. М. Левитан, Разложение по собственным функциям, М.—Л., 1950. <sup>13</sup> Е. Тичмарш, Теория функций, М.—Л., 1951. <sup>14</sup> С. М. Тарг, Основные задачи теории ламинарных течений, М.—Л., 1951. <sup>15</sup> И. С. Громека, Собр. соч., Изд. АН СССР, М., 1952. <sup>16</sup> Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе, Теоретическая гидромеханика, М.—Л., 1948.

В. Ф. ГАЗЕ

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЛАКТИКИ ПО ДИФFUЗНЫМ ТУМАННОСТЯМ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 11 II 1954)

Значительное внимание уделяется в настоящее время вопросу о выявлении спиральной структуры Галактики. За последние годы было сделано много работ по усовершенствованию спектральной классификации звезд, главным образом имея в виду уточнение расстояний до звезд, на которых, в конце концов, основаны все выводы о структуре Галактики.

Из всех методов, доступных звездной астрономии, наиболее обещающим для выявления расположения спиральных ветвей является исследование пространственного расположения диффузных газовых туманностей, поскольку из наблюдений внегалактических туманностей установлено, что эмиссионные туманности всегда располагаются вдоль спиральных ветвей. Но и в данном случае нельзя рассчитывать на получение всей картины галактической структуры ввиду незначительной величины области пространства, доступной методам звездной астрономии, сравнительно со всем объемом Галактики. Можно рассчитывать только на выявление отдельных частей спиральных ветвей.

Первая попытка выявить спиральную структуру Галактики по диффужным туманностям и скоплениям горячих звезд была сделана Морганом, Шарплессом и Остерброком в 1952 г. <sup>(1)</sup>. Из ограниченного материала (всего 25 объектов) авторам удалось доказать, что туманности и горячие звезды располагаются вдоль двух возможных ветвей, одна из которых отстоит от Солнца на расстоянии 300 пс, другая — на расстоянии 2000 пс, обе в направлении, противоположном направлению на центр. Несколько позже Бок, Бестер и Ваде указали на существование третьей ветви, проходящей между Солнцем и центром Галактики <sup>(2)</sup>.

Имея в своем распоряжении значительно более обширный материал — фотографии около 400 эмиссионных туманностей, мы хотели попытаться обнаружить галактическую структуру на основании своих наблюдений.

Единственным способом определения расстояния до туманности является определение расстояния до возбуждающей звезды, поэтому мы имеем возможность использовать только те туманности, для которых эти возбуждающие звезды известны, а эти туманности составляют всего 53% их общего числа <sup>(3)</sup>. Таким образом, мы могли использовать всего около 150 туманностей, для которых расстояния известны более или менее уверенно. Но, принимая во внимание малую точность определения расстояния до звезд О и В0, надо считать полученную нами картину лишь грубым приближением.

Положения этих туманностей нанесены на схематическом чертеже (см. рис. 1), в центре которого находится Солнце. На этой схеме можно довольно уверенно провести три ветви: первая, ближайшая к Солнцу,



расположенная по другую сторону от него, нежели Галактический центр, проходит через созвездия Лебедя, Цефея, Персея, Ориона, Возничего, Единорога, Большого Пса. Расстояние до Солнца в ближайшей точке около 300 пс и ширина ветви около 400 пс. Две точки в долготах  $150^{\circ}$ — $160^{\circ}$ , не лежащие на ветви, представляют туманности в созвездии Близнецов; вероятно, это отклонение вызвано неточным знанием расстояний.

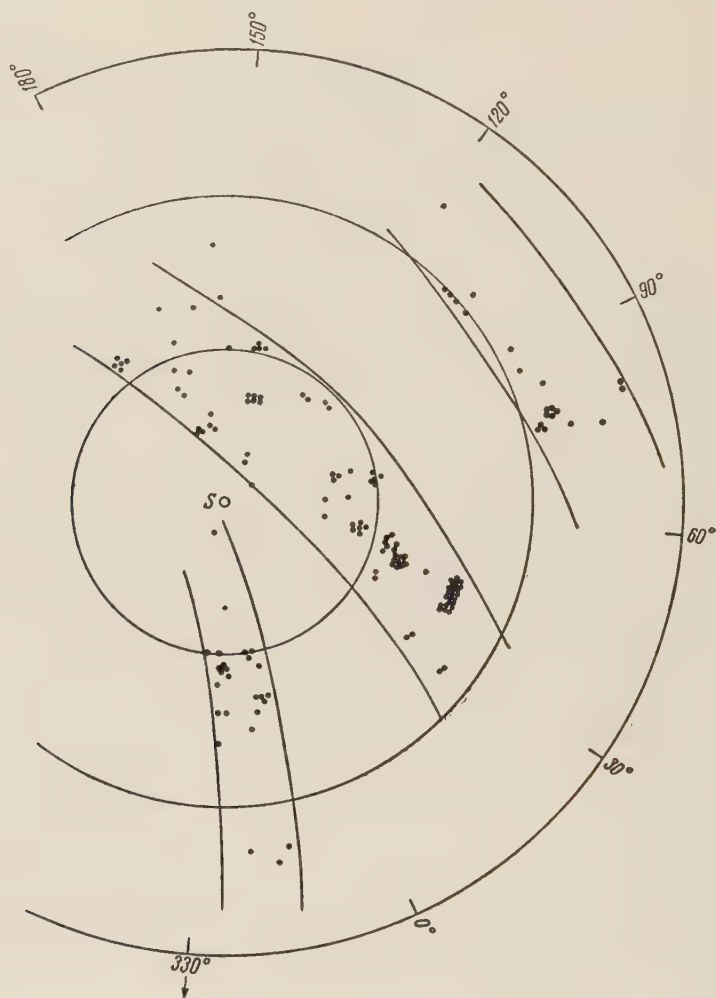


Рис. 1. Схема спиральных ветвей Галактики по диффузным туманностям. В центре находится Солнце. Круги соответствуют расстояниям в 1000, 2000, 3000 пс

Вторая, более далекая ветвь проходит на расстоянии около 2000 пс от Солнца, через созвездия Цефея, Кассиопеи, Персея. Ширина ее приблизительно такая же, как и первой ветви. Она намечается менее уверенно, чем первая, так как известно мало столь далеких туманностей, и здесь, очевидно, особенно сказывается недостаточное знание спектров слабых звезд.

Третья, внутренняя ветвь включает туманности в созвездиях Стрельца, Щита и Змеи; значительная вытянутость этой ветви в радиальном направлении может частично объясняться дисперсией расстояний.

Богатая группа туманностей находится в долготах  $250^{\circ}$ — $270^{\circ}$  в созвездиях Киля и Центавра. Недостаток наблюдений в Южном полушарии не

позволяет решить вопроса, составляет ли эта группа самостоятельную ветвь или как-то соединяется с ветвью, проходящей через Стрелец и Щит. Более уверенное суждение станет возможным после опубликования обзора областей Н II, проводимого в настоящее время в Южной Африке.

К области Щита примыкает с севера более бедная туманностями область в Орле — Лисичке. В южной ее части, примерно около  $10^\circ$  долготы, имеется некоторое число слабых и небольших туманностей с неизвестными расстояниями, вероятно, это более далекие объекты. Далее, на протяжении следующих  $20^\circ$  долготы лежит область большого поглощения в Орле — вилка Млечного Пути; здесь не наблюдаются ни туманности, ни горячие звезды. Можно полагать, что наблюдаемые в этом направлении плотные звездные облака лежат на очень большом расстоянии.

Полученная нами схема спектральной структуры в основном согласуется с предварительной схемой Моргана, Шарплесса и Остерброка (<sup>1</sup>).

Недавно появилась новая работа Моргана, Уитфорда и Коде (<sup>4</sup>), в которой дано расположение спиральных ветвей Галактики по 27 агрегатам (ассоциациям) горячих звезд. В эти группы включены сверхгиганты и гиганты от О до В3; нами же были использованы для определения расстояний до туманностей только звезды О и В0, поэтому основной материал, послуживший для определения расстояний, совпадает лишь частично.

С новой схемой Моргана, Уитфорда, Коде наш чертеж также находится в согласии. Главная разница заключается в положении Солнца относительно ветвей — в схеме Моргана Солнце лежит внутри первой ветви.

Расположение ветвей спиралей, полученное по эмиссионным туманностям, и то обстоятельство, что Галактика вращается по часовой стрелке, позволяют сделать вывод, что спираль закручивается.

Структура спиральных ветвей, как она определяется диффузными туманностями, в особенности положение третьей ветви, мало похожа на идеализированную схему спирали. Наблюдаемые внегалактические системы типа  $S_b$  и  $S_c$  тоже весьма далеки от точной геометрической схемы, и в них наряду с ветвями, огибающими центр, встречаются также ветви, имеющие радиальное направление, и не мало второстепенных ветвей или деталей неправильной формы.

Мы видим туманности в глубину не дальше чем на 2000—3000 пс, а более удовлетворительно всего лишь на 1000—1500 пс. Если попытаться выделить область такого размера в одной из известных внегалактических туманностей с хорошо выраженной структурой, скажем М 33 или М 101, то в ней весьма трудно будет выделить спиральные ветви. Поэтому неудивительно, что ветви спиральной структуры Галактики определяются неуверенно.

Крымская астрофизическая обсерватория  
Академии наук СССР

Поступило  
2 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> W. W. Morgan, S. Sharpless, D. Osterbrock, *Sky and Telescope*, 11, 6 (1952); *Aph. J.*, 57, 3 (1952). <sup>2</sup> B. Bok, M. Bester, C. Wade, *Interim Report*, 1953. <sup>3</sup> Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.*, 10, 152 (1953). <sup>4</sup> W. W. Morgan, A. E. Whitford, A. Code, *Aph. J.*, 118, 318 (1953).





О. Д. ДЗИМИСТАРИШВИЛИ, А. Л. ОШЕРОВИЧ, Н. А. РАЗМАДЗЕ  
и С. Ф. РОДИОНОВ

## ЗВЕЗДНЫЙ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР С ФОТОУМНОЖИТЕЛЕМ

(Представлено академиком А. А. Лебедевым 17 II 1953)

Как известно, звездный электрофотометр, установленный в 1937 г. на 13" рефлекторе Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузинской ССР, позволял электрофотометрические наблюдения звезд до 7,5—8 звездной величины (<sup>1, 2</sup>). Для наблюдения на этом рефлекторе более слабых звезд необходимо применение более чувствительной электрофотометрической системы. Такой системой является электрофотометр с фотоумножителем (<sup>3</sup>), разработанный в лаборатории фотометрии Научно-исследовательского физического института Ленинградского государственного университета Е. Н. Павловой и двумя из авторов настоящей статьи. Этот электрофотометр неоднократно использовался для фотометрирования небесных объектов (свечимость ночного неба, инфракрасное излучение Млечного Пути, ультрафиолетовое излучение Солнца и Луны и др. (<sup>4-7</sup>)).

Для целей настоящей работы электрофотометр применялся в своей обычной форме за исключением небольших изменений в техническом оформлении, сделанных для работы с телескопической системой. Фотоумножитель, лампа однокаскадного усилителя постоянного тока (<sup>3</sup>) и нагрузочное сопротивление в цепи сетки этой лампы в виде единого герметизированного блока были укреплены на окулярном конце рефлектора. Пульт управления электрофотометра был связан с основным блоком гибким экранированным шлангом.

Приводим некоторые параметры примененного электрофотометра: спектральная чувствительность фотоумножителя \* (отношение фототока на выходе ФЭУ к измеряемому световому потоку) при  $\lambda = 4500 \text{ \AA}$   $\epsilon_\lambda = 48800 \text{ кул/кал}$ ; электронный выход фотокатода ФЭУ при той же длине волны  $\eta_\lambda = 0,1$  электрон-квант; коэффициент усиления ФЭУ по току  $K_i = 2,9 \cdot 10^5$ ; темновой ток на выходе ФЭУ  $I_T = 0,66 \cdot 10^{-9} \text{ а}$ ; коэф-

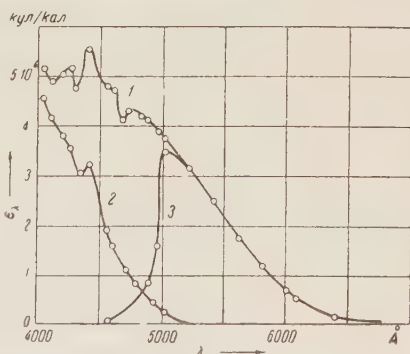


Рис. 1. Спектральная чувствительность фотоумножителя. 1 — без светофильтра; 2 — со светофильтром BG-3; 3 — со светофильтром GG-11

\* Нами применялся фотоумножитель с сурьмяно-цезиевым катодом.

коэффициент усиления усилителя по току  $\mu_i = 1,1 \cdot 10^4$ ; нагрузочное сопротивление  $R_f = 50 \text{ М}\Omega$  \*.

Испытание электрофотометра было проведено в августе 1952 г. на 13" рефлекторе Абастуманской астрофизической обсерватории. Каждое измерение звезды производилось: 1) без светофильтров; 2) со светофильтром Шотта BG-3 (толщина 1 мм, максимум пропускания 3600 Å, полуширина полосы пропускания 1800 Å); 3) со светофильтром Шотта GG-11 (толщина 2 мм, максимум пропускания 6000 Å, полуширина полосы пропускания 2000 Å, полагая красную границу последней 7000 Å).

На рис. 1 представлены кривые спектральной чувствительности фотоумножителя без светофильтра и со светофильтрами. Данные рис. 1 получены без усилителя, т. е. путем измерения фототока на выходе ФЭУ.

В табл. 1 приводятся результаты измерения интенсивности излучения четырех слабых звезд, находящихся в площадке Каптейна № 88. Измерения проводились при зенитном расстоянии  $z = 44^\circ$ , при чистом небе и высокой прозрачности атмосферы. Номера измеренных звезд указаны по Бергсдорфскому каталогу (BSD); фотографические звездные величины и спектральные классы взяты из этого же каталога. Средние показания гальванометра даны на выходе усилителя с учетом фона неба; эти показания получены как средние из трех измерений; приводятся также величины средней квадратичной ошибки.

Таблица 1

№№ звезд (BSD)	$m_{pg}$ (BSD)	Sp (BSD)	Показания гальванометра в ца *		
			без светофильтров	GG-11	BG-3
153	9,4	gK <sub>3</sub>	28,12±0,44	14,74±0,22	2,71±0,33
162	9,19	B <sub>9</sub>	23,25±0,37	5,35±0,18	7,77±0,33
174	9,36	B <sub>9</sub>	20,39±0,48	4,91±0,18	6,89±0,33
175	9,20	A <sub>6</sub>	24,35±0,48	7,04±0,18	6,97±0,35

\* На выходе усилителя применялся гальванометр с чувствительностью  $2,2 \cdot 10^{-7}$  а/мм.

На основании приведенных данных следует, таким образом, считать установленным, что чувствительность примененного электрофотометра позволяет фотометрировать на 13" рефлекторе звезды слабее 9-й величины.

Ленинградский государственный университет  
им. А. А. Жданова  
Абастуманская астрофизическая обсерватория  
Академии наук Груз.ССР

Поступило  
27 I 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Б. Никонов, П. Г. Куликовский, Астр. журн., **16**, № 4 (1939).  
<sup>2</sup> П. Г. Куликовский, Тр. Гос. астроном. инст., **13** (1941). <sup>3</sup> А. Л. Ошерович,  
 Е. Н. Павлова и др., ЖТФ, **19**, 184 (1949). <sup>4</sup> С. Ф. Родионов, Е. Н. Пав-  
 лова, ДАН, **65**, 831 (1949). <sup>5</sup> С. Ф. Родионов, Е. Н. Павлова, Е. В. Рдул-  
 товская, ДАН, **66**, 55 (1949). <sup>6</sup> С. Ф. Родионов, Е. Н. Павлова, ДАН,  
**67**, 251 (1949). <sup>7</sup> С. Ф. Родионов, И. Г. Фришман, ДАН, **77**, 997 (1951).

\* Все указанные параметры были специально измерены в лаборатории фото-  
метрии НИФИ ЛГУ.

М. А. МОГИЛЕВСКИЙ, А. Е. ВЕЛЛЕР и В. М. ВАЛЬД-ПЕРЛОВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СОЛНЦЕ ПРИ ПОМОЩИ МОДУЛЯЦИОННОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА

(Представлено академиком Г. А. Шайном 28 I 1954)

1. Определение магнитных полей на Солнце представляет одну из наиболее актуальных и вместе с тем наиболее трудных задач физики Солнца. Трудность измерений связана с тем, что уже для полей порядка нескольких сот эрстед зеемановское расщепление значительно меньше ширины линии. Так, при  $H = 50$  эрст. для линии FeI  $\lambda = 5250,2 \text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda \cong 0,002 \text{ \AA}$ , тогда как ширина линии порядка  $0,1 \text{ \AA}$ .

В последнее время для измерения магнитных полей на Солнце начинают применяться фотоэлектрический модуляционный метод (<sup>1, 2</sup>), позволяющий значительно снизить величину минимального магнитного поля, доступного измерениям. Существенно при этом то обстоятельство, что в отличие от обычного фотографического метода могут быть использованы для этого относительно малые солнечные установки.

2. В течение 1952—1953 гг. в Институте земного магнетизма был построен модуляционный фотоэлектрический спектрофотометр, предназначенный для измерения магнитных полей на Солнце. В настоящем сообщении кратко описывается эта установка, методика измерений и первые опыты по определению локальных магнитных полей на Солнце.

3. Как известно (<sup>3, 4</sup>), в случае простого эффекта Зеемана слабая линия поглощения солнечного спектра расщепляется на три компоненты, контуры которых задаются соотношениями:

$$\begin{aligned} J_{\sigma_-}(\lambda) &= (1 + \cos^2 \theta) f(\lambda - \lambda_-), \\ J_{\sigma_+}(\lambda) &= (1 + \cos^2 \theta) f(\lambda - \lambda_+), \\ J_{\pi}(\lambda) &= 2 \sin^2 \theta f(\lambda - \lambda_0), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\theta$  — угол, составляемый вектором магнитного поля с лучом зрения (осью  $Z$ );  $\sigma$ -компоненты поляризованы в общем случае эллиптически, а  $\pi$ -компонента — линейно.

Пусть выходная щель спектрографа вырезает участок на скате контура линии. Если на пути светового пучка поместить пластинку, сообщающую обыкновенному лучу сдвиг фазы  $\sim \pi/2$  относительно необыкновенного, и затем вращающийся поляризатор, то световой поток, проходящий через щель, будет подвергаться модуляции. Амплитуда переменной составляющей светового потока  $\Phi_{\sim}$  равна:

$$\Phi_{\sim} = k \left| \frac{d\Phi_{\sim}}{d\lambda} H \cos \theta \right|, \quad (2)$$

где  $\Phi_{\sim}$  — постоянная составляющая светового потока,  $k = 4,67 \cdot 10^{-5} g \lambda^2$  ( $g$  — фактор Ланде).



Определяя одновременно величины  $\Phi_{\sim}$  и  $\Phi_{=}$  в нескольких точках линии, можно измерить величину  $|H_z|$ . Знак  $H_z$  определяет фазу переменной составляющей.

4. Для измерений была избрана линия  $\text{FeI } \lambda = 5250,2 \text{ \AA}$ , обладающая большим фактором Ланде ( $g = 3$ ) и, кроме того, расположенная вблизи от максимума кривой спектральной чувствительности приемнявшегося фотоумножителя.

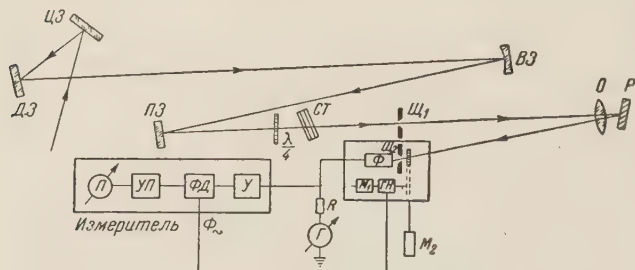


Рис. 1. Принципиальная схема установки. ЦЗ — зеркало целостата, ДЗ — дополнительное зеркало, ВЗ — вогнутое зеркало, ПЗ — поворотное зеркало (остальные обозначения см. в тексте)

Схема установки представлена на рис. 1. Входная щель  $\text{Ш}_1$  автоколлимационного спектрографа с дифракционной решеткой  $P$  (дисперсия  $2,3 \text{ \AA/mm}$ ) располагается в фокальной плоскости горизонтального солнечного телескопа ( $D = 130 \text{ мм}$ ;  $F/55$ ). Перед входной щелью помещается пластинка  $\lambda/4$  и компенсационная стопа  $CT$  (см. ниже). За выходной щелью  $\text{Ш}_2$ , вырезающей малый участок линии (порядка  $0,02 \text{ \AA}$ ), находится вращающийся поляризатор. Выходная щель вместе с поляризатором и фотоумножителем  $\Phi$  может перемещаться по спектру при помощи синхронного мотора  $M_2$ . Перемещение выходной щели вдоль линии дает возможность определить  $\Phi_{\sim} / \frac{d\Phi_{=}}{d\lambda}$  для большого числа точек.

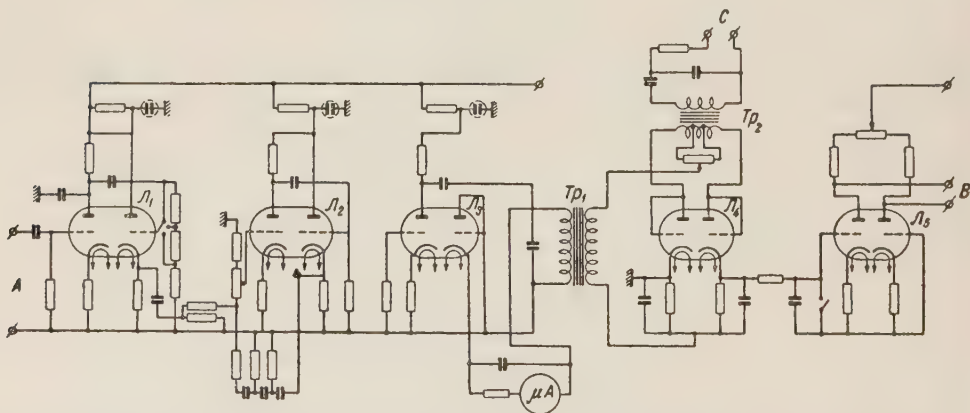


Рис. 2. Принципиальная схема измерителя.  $L_1$  и  $L_2$  — лампы 6Н9;  $L_3$ ,  $L_4$  и  $L_5$  — лампы 6Н8;  $Tr_1$  и  $Tr_2$  — трансформаторы с коэффициентом трансформации 1;  $A$  — вход сигнала от ФЭУ;  $B$  — выход к регистрирующему прибору;  $C$  — вход синхронизирующего сигнала от генератора (ГН)

Фототок фотоумножителя попадает на гальванометр  $\Gamma$ , измеряющий  $\Phi_{=}$ , и на вход измерителя  $\Phi_{\sim}$  (см. рис. 1). Последний состоит из узкополосного усилителя  $У$ , фазового детектора  $\Phi Д$ , усилителя постоянного тока  $УП$  и регистрирующего прибора  $\Pi$ . Синхронизирующий сигнал поступает на детектор от генератора  $ГН$ , который посажен на ось синхронного мотора  $M_1$ , вращающего поляризатор. Измеритель обладает полосой пропускания  $0,01 \text{ гц}$  при рабочей частоте  $33,3 \text{ гц}$ .

Минимальная величина магнитного поля, доступная измерениям в нашей установке, определяется флуктуациями фототока, возникающими вследствие дробового эффекта на фотокатоде электронного умножителя. В соответствии с расчетами она оказалась равной приблизительно 10 эрст. (в единичном измерении).

Измерения показали, что при отражении от зеркал целостата возникает частичная поляризация света, причем степень поляризации может достигать нескольких процентов. Отражение от дифракционной решетки также создает частичную поляризацию ( $P \cong 12\%$ ). В результате этого при вращении поляризатора возникает весьма интенсивная дополнительная модуляция светового потока. Благодаря наличию фазового детектора можно значительно уменьшить величину дополнительного сигнала, используя отличие его фазы от фазы полезного сигнала. Оказалось удобным компенсировать дополнительный сигнал введением на пути светового пучка стопы плоскопараллельных стеклянных пластинок *СТ*. Компенсация осуществлялась в непрерывном спектре вблизи от линии путем поворачивания стопы относительно горизонтальной оси.

5. По окончании исследования отдельных частей установки было произведено несколько опытных измерений локальных магнитных полей на Солнце. Так, 20 IX 1953 г. были проведены измерения магнитного поля малого солнечного пятна ( $\varphi = +7^\circ, 0$ ;  $L = 266^\circ, 5$ ;  $S_d = 95$ ). Напряженность магнитного поля в пятне оказалась равной  $\sim 900$  эрст. В тот же день в районе флоккула, расположенного вдали от группы пятен, было обнаружено локальное магнитное поле с максимальной напряженностью около 40 эрст.\*.

Авторы выражают благодарность проф. Г. С. Горелику за внимание к настоящей работе.

Научно-исследовательский институт  
земного магнетизма

Поступило  
23 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> G. Thiessen, Zs. f. Aph., 30, 185 (1952). <sup>2</sup> K. O. Kiepenheuer, Aph. J., 117, 447 (1953). <sup>3</sup> F. H. Seares, *ibid.*, 38, 99 (1913). <sup>4</sup> H. W. Babcock, *ibid.*, 110, 126 (1949).

---

\* Местоположение флоккулов определялось по снимкам хромосферы в линии  $H_\alpha$ , полученным при помощи интерференционно-поляризационного фильтра ГОИ (полоса пропускания  $0,5 \text{ \AA}$ ).





МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Г. А. ГРИНБЕРГ, Н. Н. ЛЕБЕДЕВ, И. П. СКАЛЬСКАЯ  
и Я. С. УФЛЯНД

**ВОЛНОВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА**

1. В настоящей работе дается строгое решение задачи об установившихся электромагнитных колебаниях, вызванных линейным источником, помещенным внутри идеально проводящего экрана, имеющего форму параболического цилиндра.

На первый взгляд рассматриваемая проблема представляется тривиальной, так как она приводится к краевой задаче для уравнения Гельмгольца, изученной в ряде работ. <sup>(1-4)</sup> Подобная точка зрения является, однако, ошибочной, поскольку критическое рассмотрение результатов этих работ показывает, что они не дают полного решения задачи, и полученные в них формулы не могут считаться обоснованными без дополнительного исследования. В работах Эпштейна <sup>(1, 2)</sup> автором путем разделения переменных в параболической системе координат построена совокупность частных решений уравнения Гельмгольца, позволяющая рассмотреть некоторые краевые задачи, связанные с параболическим цилиндром. Однако задача об электромагнитном поле линейного излучателя и вообще краевая задача с произвольными граничными условиями, заданными на поверхности цилиндра, не допускает решения в рядах Эпштейна, так как эти ряды сходятся лишь в части области, ограниченной цилиндром. В основе этого обстоятельства, которое, повидимому, не было отмечено с достаточной отчетливостью в литературе, лежит невозможность распространения известной теоремы о разложении произвольных функций в ряды по функциям Эрмита вещественного аргумента на соответствующие ряды комплексного аргумента, встречающиеся при рассмотрении данной проблемы. В силу сказанного построенные Эпштейном совокупности решений уравнения Гельмгольца непригодны для решения рассматриваемых краевых задач, за исключением совершенно специальных частных случаев \*. Правильный путь подхода к проблеме был указан Магнусом, который в работе <sup>(3)</sup> показал, что рассматриваемая проблема принадлежит к классу задач с непрерывным спектром, и ее решение получается в виде комплексного интеграла, образованного из соответствующих частных решений уравнения Гельмгольца путем интегрирования по параметру. К сожалению, эта работа не получила своего завершения, а именно, в ней не было доказано, что найденное решение удовлетворяет принципу излучения, без чего анализ не может считаться исчерпывающим. В работе <sup>(4)</sup>, посвященной рассмотрению задачи, указанной в заголовке настоящей статьи, автор, по не вполне ясным мотивам, отказывается от ранее намеченного им, теоретически правильного пути решения проблемы и строит последнее в форме комплексного интеграла другого вида, чем первоначальный. Данная в этой работе проверка того, что полученное выражение удовлетворяет всем условиям

\* К которым относится, в частности, решенная Эпштейном задача о дифракции плоской волны, падающей на проводящий параболический экран.

задачи, не является убедительной, так как в ней отсутствует доказательство регулярности вторичного поля в смежности с фокусной линией. Этот пробел ставит под сомнение справедливость полученных результатов, так как частные решения уравнения Гельмгольца, входящие в подинтегральное выражение, не являются регулярными вблизи линии фокусов\*. Детальный анализ строгого решения задачи, данного в настоящей статье, показывает, что формула Магнуса, как и некоторые формулы, содержащие ряды эпштейновского типа, верны лишь для ограниченной части области внутри параболического цилиндра. Однако этот вывод следует исключительно из сопоставления указанных формул с данным ниже решением и не может быть сделан заранее.

2. Переходя к изложению основных результатов настоящей работы, выберем систему координат  $(x, y, z)$ , ось  $x$  которой лежит в плоскости симметрии параболического цилиндра, а ось  $z$  совпадает с линией фокусов, и предположим, что линейный источник электромагнитных колебаний расположен по оси  $z$ \*\*. Математическая формулировка задачи заключается в следующем: найти решение  $u(x, y)$  уравнения

$$\Delta u + k^2 u = 0, \quad (1)$$

регулярное внутри параболического цилиндра  $r = x + 2a$  ( $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ), за исключением линии  $x = y = 0$ , в смежности с которой

$$u = -\frac{\pi \omega I}{c^2} H_0^{(2)}(kr) + \text{регулярная функция}, \quad (2)$$

обращающееся в нуль на поверхности цилиндра и удовлетворяющее условию излучения

$$u \Big|_{r \rightarrow \infty} = O(r^{-1/4}); \quad r^{1/4} \left( \frac{\partial u}{\partial r} + iku \right) \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (3)$$

Здесь  $I$  — сила тока в источнике,  $\omega$  — частота колебаний,  $k = \omega/c$  — волновое число,  $u$  — комплексная амплитуда искомого электрического поля,  $H_0^{(2)}(x)$  — функция Ханкеля второго рода.

Если ввести систему параболических координат  $(\alpha, \beta)$ , определяемых равенствами  $x = 1/2(\alpha^2 - \beta^2)$ ,  $y = \alpha\beta$  ( $-\infty < \alpha < \infty$ ,  $0 \leq \beta < \infty$ ), и выполнить разделение переменных, то легко показать, что совокупность частных решений уравнения (1), регулярных внутри параболического цилиндра ( $0 \leq \beta \leq \beta_0 = \sqrt{2a}$ ) и удовлетворяющих принципу излучения, будет

$$u_v \equiv u_v(\alpha, \beta) = M_v A_v^{(1)}(\alpha) B_v^{(1)}(\beta), \quad (4)$$

$$A_v^{(1)}(\alpha) = B_{-v-1}^{(1)}(\alpha) = e^{-1/2 i k \alpha^2} F\left(-\frac{v}{2}, \frac{1}{2}, i k \alpha^2\right),$$

где  $F(\alpha, \gamma, z)$  — вырожденная гипергеометрическая функция;  $M_v$  — произвольная функция параметра  $v$ , причем должно быть  $-1/2 < \text{Re}(v) < 0$ . Искомое решение  $u$  представляется в виде суммы поля источника и вторичного поля, полученного интегрированием выражения (4) вдоль прямой  $\text{Re}(v) = -\delta$ ,  $0 < \delta < 1/2$ . Значение коэффициента  $M_v$  определяется путем разложения первичного поля в интеграл по функциям  $A_v^{(1)}(\alpha)$ , для чего может быть использована принадлежащая Магнусу (3) теорема разложения, и приравнивания нулю суммарного поля на поверхности цилиндра. Окончательно находим:

$$u = -\frac{\pi \omega I}{c^2} H_0^{(2)}(kr) + \frac{\omega I}{2\pi V \pi c^2} \int_{-\delta - i\infty}^{-\delta + i\infty} \Gamma\left(-\frac{v}{2}\right) \Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right) e^{\frac{i\pi v}{2}} \times \\ \times [B_v^{(3)}(\beta_0) / B_v^{(1)}(\beta_0)] B_v^{(1)}(\beta) A_v^{(1)}(\alpha) dv, \quad (5)$$

\* В рассматриваемом случае их градиент неограниченно возрастает при приближении к фокусу.

\*\*\* Случай произвольного расположения источника может быть рассмотрен аналогичным образом.

где

$$B_{\nu}^{(3)}(\beta) = (ik\beta^2)^{-1/4} \Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right) W_{-\frac{1}{4}-\frac{\nu}{2}, \frac{1}{5}}(ik\beta^2),$$

$W_{\lambda, \mu}(z)$  — функция Уиттекера.

Можно показать, что полученное формальное решение удовлетворяет всем условиям задачи. Наиболее трудным этапом доказательства является проверка выполнения условия излучения, основанная на некоторых специальных оценках гипергеометрических функций, входящих в выражение (5).

3. Если дополнить путь интегрирования вправо дугой бесконечно большого круга, то при  $|\alpha| < \beta$  интеграл вычисляется при помощи теоремы о вычетах\*. Мы получим тогда

$$u = -\frac{\pi\omega I}{c^2} H_0^{(2)}(kr) + \frac{2\omega I}{\sqrt{\pi} c^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(n+1/2)}{\Gamma(n+1)} [B_{2n}^{(3)}(\beta_0)/B_{2n}^{(1)}(\beta_0)] B_{2n}^{(1)}(\beta) A_{2n}^{(1)}(\alpha), \quad |\alpha| < \beta. \quad (6)$$

Функции  $A_{2n}^{(1)}(\alpha)$  просто связаны с полиномами Эрмита, а именно:

$$A_{2n}^{(1)}(\alpha) = (-1)^n \frac{n!}{(2n)!} e^{-1/2 ik\alpha^2} H_{2n}(\sqrt{ik}\alpha). \quad (7)$$

Рядов аналогичного типа, пригодных для представления решения в области  $|\alpha| > \beta$ , не существует. Поэтому решение не может быть представлено во всей области  $0 \leq \beta \leq \beta_0$  в виде ряда по полиномам Эрмита.

4. Решение задачи, полученное Магнусом (4), имеет в наших обозначениях вид:

$$u = -\frac{\pi\omega I}{c_0} H_0^{(2)}(kr) + \frac{\omega I}{2\pi c^2} \int_{-\delta-i\infty}^{-\delta+i\infty} [B_{\nu}^{(3)}(\beta_0)/B_{\nu}^{(1)}(\beta_0)] B_{\nu}^{(1)}(\beta) A_{\nu}^{(3)}(|\alpha|) d\nu, \quad |\alpha| > 0, \quad (8)$$

где  $A_{\nu}^{(3)}(\alpha) = B_{-\nu-1}^{(3)}(\alpha)$ . Функция  $u$ , определяемая выражением (8), представляет собой решение уравнения (1), регулярное внутри параболического цилиндра с разрезом вдоль полуплоскости  $x \geq 0$  и обращаемое в нуль на поверхности цилиндра. Если  $|\alpha| < \beta$ , то интеграл, входящий в (8), может быть вычислен по теореме о вычетах, что приводит к формуле (6). Этот результат показывает, что функция  $u$ , построенная Магнусом, совпадает с решением в области  $|\alpha| < \beta$ ; следовательно, в силу известных свойств решений уравнений эллиптического типа, она тождественна с решением задачи во всей области, где  $u$  регулярна.

Ленинградский физико-технический  
институт  
Академии наук СССР

Поступило  
12 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> P. S. Epstein, Dissertation, München, 1914. <sup>2</sup> Encyklopädie der Math. Wissensch., 5, 3, S. 511. <sup>3</sup> W. Magnus, Jahresber. Deutsch. Math. Ver., 50, 140 (1940). <sup>4</sup> W. Magnus, Zs. f. Phys., 118, 343 (1941).

\* Можно показать, что функция  $B_{\nu}^{(1)}(\beta_0)$  не имеет корней в области  $\text{Re}(\nu) > -1/2$ ; поэтому особыми точками подинтегральной функции внутри контура являются лишь полюса гамма-функции  $\nu = 2n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ).





М. А. БЛОХИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО К-СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ТИТАНА В ТИТАНАТАХ БАРИЯ И СВИНЦА

(Представлено академиком А. А. Лебедевым 27 I 1954)

Целью данного исследования являлось пополнение наших знаний о физических свойствах титанатов типа перовскита с тем, чтобы ближе подойти к вопросу о природе этих свойств. Рентгеновские К-спектры поглощения титана сняты в вакуумном фокусирующем спектрографе при отражении во втором порядке от плоскости призмы кварцевой пластинки, изогнутой по радиусу 500 мм. При изготовлении поглотителей тонкий порошок титанатов взбалтывался в смеси коллодия со спиртом и полученная эмульсия выливалась на алюминиевую фольгу толщиной 6  $\mu$ .

Скачок К-края поглощения титана в титанате бария равен 1,8, а в титанате свинца 1,3. Столь малые скачки поглощения могли быть получены с достаточной контрастностью лишь в результате применения поверхностных плотностей поглотителей и экспозиций, близких к оптимальным <sup>(1)</sup>. Для титаната бария были использованы поглотители с поверхностной плотностью 5 мг/см<sup>2</sup>, а для титаната свинца 4 мг/см<sup>2</sup>. Для увеличения интенсивности непрерывного спектра медный анод рентгеновской трубки покрывался порошком окисла висмута. Трубка работала при напряжении 11 кв и силе тока 27 ма. Экспозиция для титаната бария составляла 8—9 час., а для титаната свинца 15 час.

Съемка эмиссионных спектров для выяснения расположения линии  $K\beta_5$  титана в тех же титанатах проведена на том же спектрографе при напряжении 20 кв, силе тока 16 ма. Экспозиция составляла 2 часа.

Все спектры фотометрировались на регистрирующем микрофотометре автора и микрофотометре МФ-4 как при записи микрофотограммы, так и визуально. В последнем случае микрофотометр МФ-4 был использован в качестве фотоэлектрического компаратора для определения положений максимумов и минимумов фотоплотности на спектрограмме. Этот метод оказался наиболее точным. Кроме того, пленки были промерены на компараторе МИР-12.

Фотоплотности  $s$  на спектрограммах не превосходили 0,4. В этой области, как показали многочисленные специальные исследования, фотоплотность  $s$  пропорциональна интенсивности. Поэтому при построении кривых распределения интенсивности по эмиссионному спектру интенсивность  $I$  была заменена фотоплотностью  $s$ . При построении кривой зависимости коэффициента поглощения  $\tau$  от энергии фотонов вместо  $\tau$  была вычислена величина  $\log s$ .

На рис. 1 представлены некоторые К-спектры титана:  $I$  — спектр поглощения химически чистой керамики титаната бария, снятый при

106°; 2 — эмиссионная линия  $K\beta_5$  той же керамики титаната бария; 3 — спектр поглощения химически чистой керамики титаната свинца, снятый при 100°; 4 — спектр поглощения  $TiO_2$ ; 5 — спектр поглощения  $Ti_2O_3$ . Последние два спектра получены для сравнения. По оси абсцисс отложена энергия в электронвольтах, нуль шкалы выбран условно. По оси ординат отложены в условных единицах интенсивность  $I$  эмиссионной линии и коэффициент поглощения  $\tau$ . Относительный масштаб и взаимное расположение кривых поглощения по оси ординат произвольны.

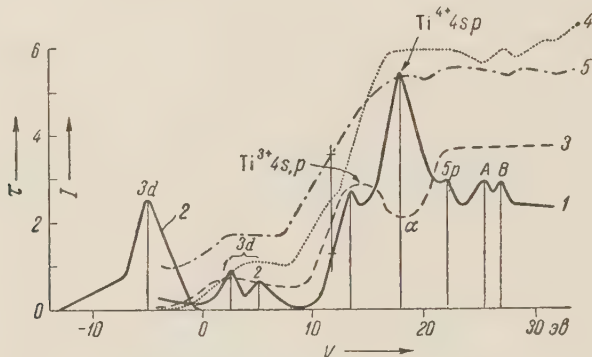


Рис. 1. Кривые  $K$ -поглощения и эмиссии ( $K\beta_5$ ) титана в керамиках титанатов бария и свинца и в окислах

При интерпретации кривых, полученных для титаната бария, следует принять во внимание, что первым свободным уровнем, на который дипольными правилами отбора разрешен переход электрона с  $K$ -уровня, является уровень  $4p$ ; в твердом теле этому уровню титана соответствует полоса  $4s, p$ , поскольку полосы  $4s$  и  $4p$  полностью перекрываются. Поэтому естественно интерпретировать самую яркую белую линию (максимум поглощения) как переход на  $4s, p$ -полосу. Первый двойной максимум поглощения, расположенный вблизи эмиссионной линии  $K\beta_5$  ( $1s \rightarrow 3d$ ), отделен от этой линии лишь небольшим разрывом (порядка 1—2 эв). Принимая во внимание сооб-

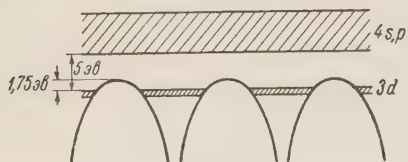


Рис. 2. Периодическое поле решетки титаната бария и расположение разрешенных полос энергии

ражения А. И. Костарева<sup>(2)</sup> относительно смещения эмиссионных спектров в длинноволновую сторону по сравнению со спектрами поглощения, следует считать, что полоса, поглощение в которой дает первый двойной максимум, начинается непосредственно за полосой, дающей эмиссионную линию  $K\beta_5$ , и, следовательно, является ее продолжением. Как известно, по расчетам Круттера и Слейтера полоса  $3d$  элементов переходной группы железа является двойной, обнаруживая спин-дублетность этой полосы. Если эмиссионная линия  $K\beta_5$  отображает заполненную часть  $3d$ -полосы, то первый двойной максимум поглощения отображает свободную часть этой полосы. Таким образом, полоса  $3d$  является лишь частично заполненной — условие, характерное для веществ с металлической проводимостью. Между тем титанат бария является изолятором. Согласовать эти представления можно при условии, что в титанате бария полоса  $3d$  расположена ниже максимумов потенциальных барьеров периодического поля решетки (см. рис. 2).



Разрыв, отделяющий первые два максимума поглощения ( $3d$ -полосу) от основного края поглощения, порядка 5 эв и характерен для изолятора. Этот разрыв значительно превосходит энергию активации 1,75 эв, рассчитанную по температурной зависимости электропроводности титаната бария<sup>(3)</sup>. Отсюда следует, что энергия активации представляет собою не разрыв между  $3d$ - и  $4s$ ,  $p$ -полосами, а высоту потенциальных барьеров над уровнем  $3d$ . Электропроводность обеспечивается в основном туннельным эффектом в полосах  $3d$ . Такое расположение  $3d$ -полос говорит об отсутствии коллективизации электронов в решетке титаната бария.

Остается интерпретировать вторую белую линию (второй максимум поглощения, рис. 1) кривой титаната бария. Этот максимум нельзя приписать поглощению  $4s$ -полосой, во-первых, потому, что переход электрона с уровня  $1s$  на  $4s$  запрещен как дипольными, так и квадрупольными правилами отбора; во-вторых, потому, что  $4s$ - и  $4p$ -полосы перекрываются, образуя, собственно, одну  $4s, p$ -полосу. При сопоставлении середины длинноволновой границы рассматриваемой белой линии с серединой главного края поглощения окисла  $Ti_2O_3$  мы видим, что эти середины совпадают. Таким образом, эта белая линия может быть интерпретирована как переход  $1s$ -электрона на  $4s, p$ -уровень трехвалентного иона  $Ti^{3+}$ , тогда как рассмотренная выше первая, наиболее яркая белая линия появляется в результате того же перехода в четырехвалентном ионе  $Ti^{4+}$ . Отсюда следует, что отношение ординат максимумов этих двух белых линий соответствует отношению числа трех- и четырехвалентных ионов титана в решетке титаната бария. Расчет показал, что трехвалентные ионы составляют 35% от всего количества трех- и четырехвалентных ионов титана, т. е. в среднем на ион титана приходится 0,35 электрона.

Мы приходим к представлению, что из четырехвалентных электронов титана три удерживаются постоянно ионами кислорода, октаэдрически окружающими ион титана, а четвертый электрон лишь часть времени находится вблизи ионов кислорода, а часть времени — вблизи иона титана, осуществляя ковалентные связи между ними. Таким образом, связи атомов титана и кислорода являются не чисто ионными, а смешанными. Доля ковалентных связей составляет 25%.

В коротковолновой части спектра расположен максимум поглощения, представляющий, очевидно, переход  $1s$ -электрона на  $5p$ - и следующие  $np$ -уровни, и далее — максимумы  $A$  и  $B$  тонкой структуры поглощения.

Некоторым подтверждением предложенной интерпретации  $K$ -спектра поглощения титана в титанате бария может служить ориентировочный расчет энергий уровней титана по приближенному методу Слейтера<sup>(4)</sup>. Этот расчет дал для расстояния между  $4s$ ,  $p$ -полосами поглощения четырех- и трехвалентных ионов титана + 5,3 эв, тогда как по кривым поглощения расстояние между этими белыми линиями равно + 4,5 эв.

При сопоставлении спектров поглощения титанатов бария и свинца (рис. 1) видно, что эти кривые весьма сильно отличаются друг от друга, что указывает на существенное отличие этих соединений как в отношении характера связей, так и природы электропроводности. Эмиссионная линия  $K\beta_5$  титана в титанате свинца точно совпадает по своему положению в спектре с линией  $K\beta_5$  титана в титанате бария. Первый слабый максимум поглощения титаната свинца также практически совпадает с первым двойным максимумом поглощения титаната бария. Вследствие сильного поглощения атомами свинца и малого скачка поглощения титана в титанате свинца расщепить этот максимум не удалось. Существенные отличия наблюдаются лишь в остальной коротковолновой наиболее ярко выраженной части спектра погло-

щения, где наблюдается широкий максимум поглощения и следующий за ним широкий минимум  $\alpha$ . Весь характер спектра напоминает спектры ковалентных соединений, например, хлора в молекулах  $\text{Cl}_2$  и  $\text{HCl}$ .

Можно, таким образом, предположить, что в титанате свинца связи атомов титана и кислорода носят в основном ковалентный характер, что может быть объяснено значительным поляризующим действием атомов свинца на атомы титана и кислорода.

Научно-исследовательский  
физико-математический институт  
Ростовского государственного университета  
им. В. М. Молотова

Поступило  
12 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. А. Блохин, Изв. АН СССР, сер. физ., 17, № 2, 224 (1953). <sup>2</sup> А. И. Костарев, ЖЭТФ, 22, № 5, 628 (1952). <sup>3</sup> D. Busch, H. Flury, W. Merz, *Helv. Phys. Acta*, 21, No. 3—4, 212 (1948). <sup>4</sup> J. C. Slater, *Phys. Rev.*, 36, No. 1, 57 (1930).

К. М. ПОЛИВАНОВ

# О НАБЛЮДЕНИИ ГИРОМАГНИТНОГО ЭФФЕКТА ФИШЕРА В ТЕЛЕ, РАСПОЛОЖЕННОМ В ВОЛНОВОДЕ

(Представлено академиком В. А. Котельниковым 1 II 1954)

Среди различных гиромагнитных эффектов Фишером <sup>(1)</sup> был указан следующий: ферромагнетик во вращающемся поле должен намагничиваться в направлении оси вращения (см. рис. 1) так, как будто бы он находился во внешнем поле,

$$H_a = \frac{2m}{g^2} \omega, \quad (1)$$

направленном вдоль оси <sup>(2,3)</sup>.

Полагая, что намагничение обусловливается поворотом спинов ( $g = 2$ ), из (1) получаем

$$H_a (\text{эрст.}) = 3,58 \cdot 10^{-7} f (\text{Гц}). \quad (2)$$

Намагничение вдоль оси  $M$  должно наблюдаться, если под действием вращающегося поля элементарные носители стремятся вращаться вместе с ним. В слабых полях, когда процессы намагничивания обуславливаются в основном смещением границ между магнитными областями (доменами), эффект наблюдаться не должен. С. В. Вонсовский и Я. С. Шур этим и объясняют <sup>(2)</sup> отрицательный результат экспериментов, поставленных для наблюдения эффекта Фишера. Более того, Беккер и Деринг <sup>(2)</sup> говорят о технической невозможности наблюдения рассматриваемого эффекта и, помещая рисунок, объясняющий этот эффект, ставят вопросительный знак около изображения продольного момента (см. рис. 1). Свое заключение авторы основывают на рассмотрении обычных в низкочастотной технике способов получения вращающегося поля (при частотах порядка 20 кГц). Иначе обстоит дело в области сверхвысоких частот, где, во-первых, могут быть получены эквивалентные действующие поля <sup>(2)</sup> на 5—6 порядков большие за счет увеличения частоты и где, во-вторых, все процессы намагничивания, вероятно, обусловлены процессами вращения (см., например, <sup>(4)</sup>).

Внутри волновода (см. рис. 2) при распространении волны типа  $H_{01}$  поле выражается равенствами:

$$E_z = A \frac{\omega \mu_0 a}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{a} y\right) \sin(\omega t - kx),$$

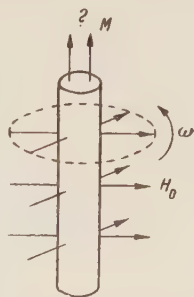


Рис. 1. Схема, объясняющая появление продольного намагничивания (по оси) под действием поперечного (радиального) вращающегося поля <sup>(3)</sup>



$$\begin{aligned}
 H_x &= A \cos\left(\frac{\pi}{a} y\right) \cos(\omega t - kx), \\
 H_y &= -A \frac{ka}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{a} y\right) \sin(\omega t - kx), \\
 E_x = E_y = H_z &= 0, \quad k = \sqrt{\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

В точках с координатами  $y$ , удовлетворяющими равенству

$$\operatorname{ctg} \frac{\pi}{a} y = \frac{ka}{\pi} = \sqrt{\left(\frac{a\omega}{\pi c}\right)^2 - 1}, \tag{4}$$

внутри волновода создается именно вращающееся магнитное поле; для точек  $x=0$  оно выражается равенствами, вытекающими из (3) и (4):

$$H_x = H_0 \cos \omega t, \quad H_y = -H_0 \sin \omega t. \tag{5}$$

Помещая в такое поле небольшое тело, скажем, ферритовый эллипсоид, можно обнаружить его намагничение в направлении  $z$ , соответствующее эффекту Фишера.

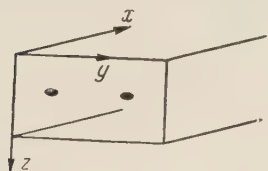


Рис. 2. Прямоугольный волновод с ферромагнитным телом, расположенным в области вращающегося поля

В целях уменьшения размагничивающего фактора (для вращающегося поля) целесообразно ферромагнитному телу придать форму эллипсоида вращения, сплюснутого в направлении  $z$ ; размагничивающее действие в направлении оси  $z$  не должно оказывать существенного влияния из-за больших значений  $H_0$ .

При подаче периодически повторяющихся импульсов от магнетронного генератора легко получить достаточно сильные поля. Применяя обычную технику детектирования и усиления (аналогичную, например, описанной в статье Дэмона <sup>(5)</sup>), можно наблюдать периодически повторяющееся намагничение, которое должно возникать в результате рассматриваемого гиромагнитного эффекта.

Результаты описанного эксперимента позволят судить о природе намагничения в полях сверхвысоких частот, о длительности установления равновесного состояния (путем изменения длительности импульсов) и представляют не меньший интерес, чем другие гиромагнитные эффекты. Возможно применение ожидаемого эффекта к измерениям полей в области сверхвысоких частот.

Поступило  
1 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. W. Fischer, Proc. Roy. Soc. (A), **109**, 7 (1925). <sup>2</sup> С. В. Вонсовский, Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. <sup>3</sup> R. Becker, W. Döring, Ferromagnetismus, Berlin, 1939. <sup>4</sup> M. Johnson, G. Rado, M. Maloof, Phys. Rev., **71**, 322 (1947); Ферромагнитный резонанс, сборн. ст. под ред. С. В. Вонсовского, 1952 (статья 38). <sup>5</sup> R. Damon, Rev. Mod. Phys., **25**, 239 (1953).

Член-корреспондент АН СССР С. Э. ФРИШ и И. П. ЗАПЕСОЧНЫЙ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ РТУТИ ПО ОПТИЧЕСКИМ ФУНКЦИЯМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Оптические функции возбуждения, дающие зависимость интенсивности спектральных линий от энергии возбуждающих электронов, были экспериментально изучены еще около 20 лет назад. При этом считалось, что при возбуждении большинства линий не играют заметной роли каскадные переходы и что, следовательно, в большинстве случаев оптическая функция возбуждения совпадает с функцией возбуждения энергетического уровня, являющегося исходным при испускании данной линии. Этот вывод был до сих пор общепринятым. Однако анализ условий возбуждения спектральных линий заставляет в нем сомневаться.

При условии, когда можно пренебречь ступенчатыми возбуждениями и реабсорбцией, интенсивность каждой линии  $I$  пропорциональна числу актов возбуждения  $\Delta N_k$  ее исходного уровня, что ведет к соотношению:

$$I \sim N_e(V) N_0 Q_{0k}(V) + \sum_{i=k+1}^{\infty} N_i A_{ik}, \quad (1)$$

где  $N_e(V)$  — число электронов с заданной энергией;  $N_i$  — число атомов в  $i$ -м состоянии;  $A_{ik}$  — вероятность спонтанного перехода;  $Q_{0k}(V)$  — функция возбуждения  $k$ -го уровня.

Из равенства (1) видно, что оптическая функция возбуждения совпадает с функцией возбуждения  $Q_{0k}(V)$  только в случае, если можно пренебречь членом  $\sum_{i=k+1}^{\infty} N_i A_{ik}$ , учитывающим каскадные переходы, чего, вообще говоря, делать нельзя. В частности, при возбуждении видимого триплета ртути ( $\lambda$  5461; 4358; 4047 Å) нельзя пренебрегать каскадными переходами с уровней  $7^3P_j$ . То обстоятельство, что роль этих переходов до сих пор не была обнаружена, следует отнести за счет недостатков экспериментов.

С целью обнаружения роли каскадных переходов мы провели опыты по определению интенсивности линий ртути в зависимости от энергии возбуждающих электронов, воспользовавшись фотоэлектрическим методом измерения интенсивностей и обратив особое внимание на монокинетичность возбуждающего пучка электронов.

Эксперименты были произведены с возбуждающей трубкой с ускорением электронов методом двойного поля (1). Использовался равнопотенциальный катод, система охранных цилиндров и приемник электронов, снабженный рядом сеток для избежания возникновения вторичных и рассеянных электронов. Трубка тщательно обезгаживалась и откачивалась. В отпаянном виде она работала многие десятки часов без заметной порчи вакуума и изменения эмиссионных свойств катода. Были использованы два экземпляра трубок, несколько различавшихся размером и относительным расположением электродов.

Линии из спектра ртути выделялись монохроматором; их интенсивности измерялись фотоэлектрическим фотометром, изготовленным экспериментальными мастерскими НИФИ ЛГУ по схеме, разработанной С. Ф. Родионовым и сотр. (2). Фотоэлектрический метод измерения интенсивностей имел существенные преимущества перед фотографическим: он обладал большей чувствительностью, большей точностью (погрешность  $\sim 2\%$ ) и благодаря скорости измерений позволял строить кривые по многим десяткам точек (до 70 для одной кривой), причем точки брались, где это было нужно, через 0,1 в.

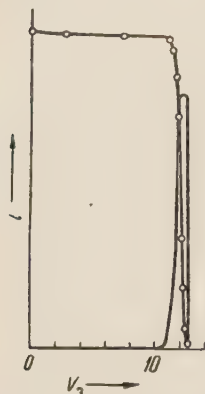


Рис. 1

Был произведен ряд контрольных опытов. Отсутствие реабсорбции, ступенчатых возбуждений и тушащих ударов проверялось по линейности зависимости интенсивности линий  $I$  от давления возбуждаемых паров ртути и силы тока в пучке. Линейные зависимости выполнялись для давлений в интервале от нуля до  $3,5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. и для сил токов в интервале от нуля до 100  $\mu$ а (последнему значению соответствовала плотность тока в пучке  $4 \cdot 10^{-3}$  а/см<sup>2</sup>).

Распределение электронов по энергиям проверялось методом задерживающего поля. На рис. 1 приведена зависимость силы тока  $i$ , достигающего приемника, от задерживающего потенциала  $V_0$ . Ускоряющий потенциал  $V = 12,7$  в. На том же рисунке приведена дифференциальная кривая, из которой следует, что 90% электронов имели энергии в интервале шириной около 1,0 эв. При уменьшении плотности тока и давлений паров этот интервал удавалось снизить до 0,5 эв.

Были исследованы 8 видимых линий ртути, длины волн и серийная принадлежность которых приведены в табл. 1. Измерения, произведенные с обеими трубками, давали кривые, совпадающие друг с другом в пределах ошибок наблюдений.

Результаты измерений дали следующее: 1) оптические функции возбуждения линий  $\lambda\lambda$  5461; 4358; 4047 Å, имеющих общий верхний уровень  $7^3S_1$ , вполне совпадают между собой; 2) оптические функции возбуждения линий ртути  $\lambda\lambda$  5461; 4358; 4047; 4078; 4916; 4108 Å имеют по несколько острых максимумов, расположенных при потенциалах немного больших (на 1—4 в) потенциала возбуждения (число и положение этих максимумов приведены в табл. 1); 3) оптические функции возбуждения линий  $\lambda\lambda$  4078; 4916 и 4108 Å имеют, кроме того (в согласии с предыдущими авторами), плоский максимум при энергиях возбуждения электронов 30—35 эв; 4) оптические функции возбуждения линий  $\lambda\lambda$  5791 и 4347 Å не имеют резко выраженных максимумов; 5) при искусственном ухудшении монокинетичности пучка электронов максимумы, расположенные вблизи потенциала возбуждения, сглаживались, и когда энергии электронов были распределены в интервале шириной около 3,5 эв, они сливались в один; при

Таблица 1

Длина волны, Å	Серийный символ	Потенциал возбуждения, в	Число максимумов	Положение наблюдаемых максимумов, в
5461	$6^3P_2-7^3S_1$	7,69	6	8,2; 8,9; 9,6; 10,5; $\sim 11,0$ ; $\sim 12,4$
4358	$6^3P_1-7^3S_1$	7,69	6	То же
4047	$6^3P_0-7^3S_1$	7,69	6	» »
4078	$6^3P_1-7^1S_0$	7,90	4 (+1)*	8,7; 10,0; 11,1; $\sim 13,1$ ; ( $\sim 30$ )
4916	$6^1P_1-8^1S_0$	9,18	2 (+1)	10,2; $\sim 11,1$ ; ( $\sim 35$ )
4108	$6^1P_1-9^1S_0$	9,67	2 (+1)	10,4; $\sim 11,1$ ; ( $\sim 35$ )
5791	$6^1P_1-6^1D_2$	8,80	1 (?)	$\sim 18$
4347	$6^1P_1-7^1D_2$	9,51	1 (?)	$\sim 20$

\* В скобках отмечены плоские максимумы, лежащие в области больших энергий возбуждающих электронов.



этом кривые совпадали в пределах ошибок наблюдений с кривыми, полученными раньше для соответственных линий Шаффернихтом<sup>(3)</sup>.

Наличие нескольких максимумов у оптических функций возбуждения вблизи потенциала возбуждения объясняется ролью каскадных переходов. Каждая экспериментальная кривая с несколькими максимумами может быть разложена на кривые, представляющие собой функции возбуждения отдельных энергетических уровней атома ртути. Так как для каждого уровня известен его потенциал возбуждения и

так как наблюдаемые максимумы достаточно резки, такое разложение вблизи потенциала возбуждения практически однозначно. Неоднозначность имеет место лишь при больших энергиях возбуждения, где экспериментальные кривые идут плавно.

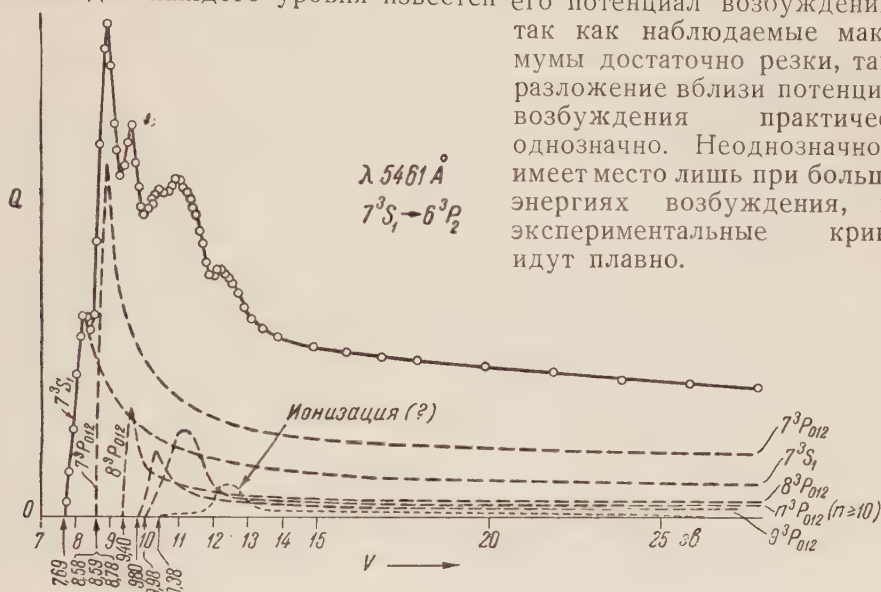


Рис. 2

На рис. 2 приведена наблюдаемая оптическая функция возбуждения линий  $\lambda$  5461 Å; пунктирные линии изображают функции возбуждения энергетических уровней, на которые экспериментальная кривая разлагается. Первый небольшой максимум на экспериментальной кривой при 8,2 эв относится к возбуждению уровня  $7^3S_1$ ; три последующих максимума относятся к возбуждению уровней  $7^3P_j$ ,  $8^3P_j$  и  $9^3P_j$ , имеющих, соответственно, потенциалы возбуждения 8,6; 9,4 и 9,8 эв. Пятый максимум относится к возбуждению неразрешенной группы уровней  $n^3P_u$  при  $n \geq 10$ . Размытый максимум около 12,4 эв, по всей вероятности, относится к процессу рекомбинации ионов ртути. Как видно, роль каскадных переходов, особенно с уровней  $7^3P_u$ , очень велика. Возбуждение уровня  $7^3P_u$  должно сопровождаться излучением инфракрасного триплета  $\lambda\lambda$  11287; 13673 и 13951 Å, который мы не могли пока наблюдать из-за нечувствительности употреблявшегося фотоэлектрического фотометра в этой части спектра.

Линии  $\lambda\lambda$  4078; 4916 и 4108 Å имеют исходными, соответственно, уровни  $7^1S_0$ ,  $8^1S_0$  и  $9^1S_0$ . Наблюдаемая оптическая функция возбуждения линии  $\lambda$  4078 Å (см. рис. 3) имеет три хорошо выраженных максимума, которые относятся к возбуждению уровней  $7^1S_0$ ,  $7^1P_1$  и неразрешенной группы уровней  $n^1P_1$  при  $n \geq 8$ . Максимумы, относящиеся к этой группе уровней  $n^1P_1$ , имеются и на кривых для линий  $\lambda\lambda$  4916 и 4108 Å; первые максимумы на этих двух кривых относятся, соответственно, к возбуждению уровней  $8^1S_0$  и  $9^1S_0$ . Таким образом, вид кривых для этих трех линий вполне соответствует друг другу. Остаются необъясненными размытый максимум на кривой для линий  $\lambda$  4078 Å вблизи 13 эв и плоские максимумы на кривых всех трех линий при больших энергиях возбуждающих электронов. Пер-



вый из них, по всей вероятности, относится к процессу рекомбинации иона ртути; происхождение вторых остается неизвестным, возможно, что они присущи самим функциям возбуждения одиночных уровней  $n^1S_0$ . Отсутствие заметных максимумов на оптических функциях

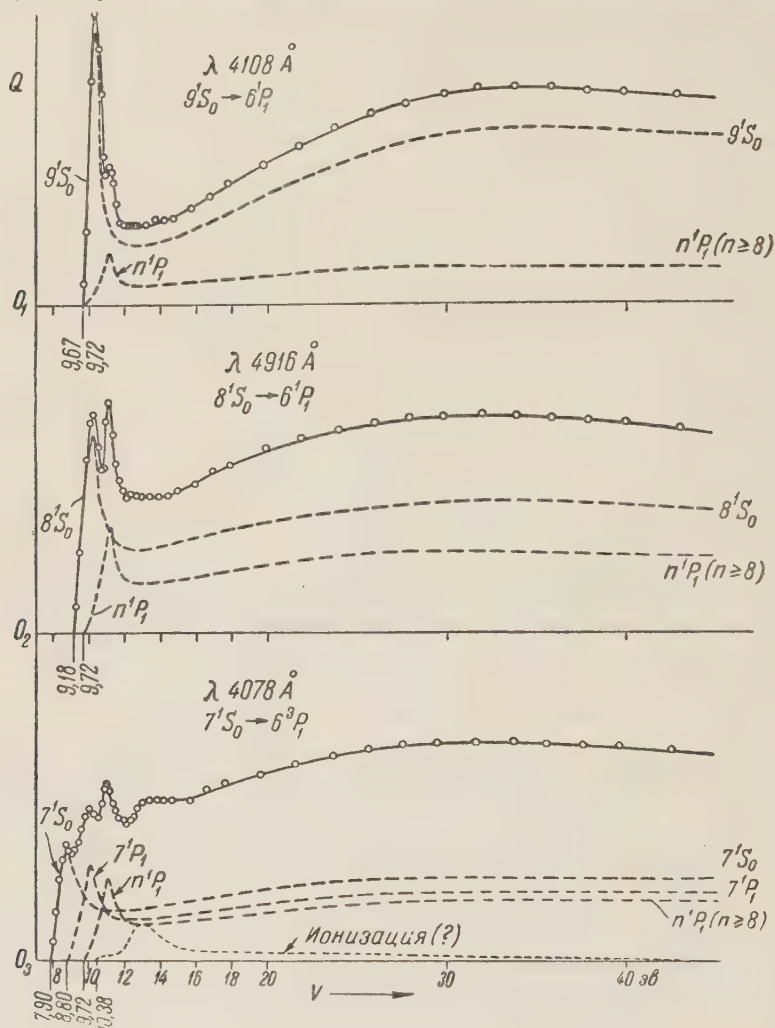


Рис. 3

возбуждения линий  $\lambda\lambda$  5791 и 4347 Å объясняется тем фактом, что выше их исходных уровней расположено значительное число близких друг к другу уровней, с которых возможны каскадные переходы. В условиях наших опытов эти уровни оставались неразрешенными.

Из изложенных опытов следует, что наблюдавшиеся до сих пор функции возбуждения получались в результате слияния кривых, относящихся к возбуждению отдельных энергетических уровней. Истинные функции возбуждения энергетических уровней имеют вблизи потенциалов возбуждения более острые максимумы, чем это считалось.

Физический институт  
Ленинградского государственного университета  
им. А. А. Жданова

Поступило  
10 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> W. Hanle, Zs. f. Phys., 56, 94 (1929). <sup>2</sup> А. Л. Ошерович, Е. Н. Павлова и др., ЖТФ, 19, 184 (1949). <sup>3</sup> W. Schaffernicht, Zs. f. Phys., 62, 106 (1930).

# О ЧЕТНОСТИ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ ПАРА- И ОРТО-СОСТОЯНИЙ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 18 I 1954)

Известно, что волновые функции пара- и орто-позитрония (состояния  $^1S_0$  и  $^3S_1$ ) являются по своим трансформационным свойствам, соответственно, псевдоскаляром и вектором (см., например, <sup>(1)</sup>). В данной заметке показывается, что отмеченные выше трансформационные свойства имеют место вообще для  $S$ -состояний любых спинорных частиц, волновые функции которых преобразуются одинаково\* при вращениях и инверсии трехмерного пространства по представлению

$$\hat{T}^2 = -1, \quad (1)$$

где  $\hat{T}$  — матрица, соответствующая инверсии трех пространственных осей <sup>(2, 3)</sup>.

Рассмотрим вращение

$$\mathbf{x}' = \hat{s} \mathbf{x} \quad (2)$$

пространственных осей координат. Четырехкомпонентная волновая функция  $U(\mathbf{x})$  частицы со спином  $1/2$  преобразуются при этом по закону

$$U(\mathbf{x}) \rightarrow U'(\mathbf{x}') = \hat{S} U(\hat{s}^{-1} \mathbf{x}') = \hat{S} \bar{U}(\mathbf{x}'), \quad (3)$$

причем  $\hat{S}$  есть четырехрядная матрица спинорного представления группы вращений. Преобразование (3) является фактически произведением двух преобразований  $U(\mathbf{x}) \rightarrow \hat{S} U(\mathbf{x})$ ,  $U(\mathbf{x}) \rightarrow \bar{U}(\mathbf{x}')$  и может быть поэтому записано в виде

$$U'(\mathbf{x}') = \hat{S} \hat{P} U(\mathbf{x}) = \hat{P} \hat{S} U(\mathbf{x}), \quad (4)$$

$$\hat{P} u_\rho(\mathbf{x}) = \bar{u}_\rho(\mathbf{x}') \quad (4a)$$

( $\rho = 1, 2, 3, 4$ ). Дираковский спинор  $U = \begin{Bmatrix} \varphi \\ \chi \end{Bmatrix}$  приводим в отношении преобразований  $\hat{S}$  и распадается на два двухкомпонентных спинора  $\varphi = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$  и  $\chi = \begin{pmatrix} u_3 \\ u_4 \end{pmatrix}$ , так что

$$\hat{S} = \begin{pmatrix} \hat{\Sigma} & 0 \\ 0 & \hat{\Sigma} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Двухрядные матрицы  $\hat{\Sigma}$  в (5) принадлежат неприводимому представлению группы вращений  $D_{1/2}$ . Если кроме вращений (2) включить в рассмотрение также и инверсию осей, то, поскольку мы имеем дело с одновременным преобразованием двух спиноров ( $\varphi$  и  $\chi$ ), следует,

\* Мы называем два спинора преобразующимися одинаково, если матрицы преобразования тождественны. В связи с двухзначностью спинорных представлений подчеркнем, что матрицы преобразований двух спиноров, преобразующихся по одному и тому же представлению, необязательно тождественны, но могут различаться знаками.

вообще говоря, различать представления  $D_{1/2}^+$  и  $D_{1/2}^-$ , отличающиеся знаками матриц, соответствующих отражениям. Для инверсии осей имеем:

$$U'(\mathbf{x}') = \hat{T} \hat{R} U(\mathbf{x}) = \hat{R} \hat{T} U(\mathbf{x}); \quad (6)$$

$$\hat{R} u_\varphi(\mathbf{x}) = u_\varphi(\mathbf{x}'), \quad (6a)$$

Удовлетворяющая уравнению (1) матрица  $\hat{T}$  равна  $\pm i\gamma_4$  ( $\gamma_4^2 = 1$ ). Выбрав, как обычно,  $\gamma_4$  диагональной, найдем:

$$\hat{T} U(\mathbf{x}) = \left\{ \begin{array}{l} \pm i\varphi(\mathbf{x}) \\ \mp i\chi(\mathbf{x}) \end{array} \right\}. \quad (7)$$

Таким образом, если спинор  $\varphi$  преобразуется по представлению  $D_{1/2}^+$ , то для  $\chi$  имеет место представление  $D_{1/2}^-$ . В случае, когда  $U(\mathbf{x})$  есть волновая функция частицы с данным моментом  $j$ , компоненты  $u_\varphi(\mathbf{x})$  преобразуются при преобразованиях (4a), (6a) по неприводимому представлению  $D_l^+$  группы трехмерных вращений и отражений, причем если для компонент  $\varphi$   $l = j - 1/2$ , то для компонент  $\chi$   $l = j + 1/2$ . Из изложенного следует, что при преобразованиях (3), (6) спиноры  $\varphi$ ,  $\chi$  преобразуются по неприводимым представлениям  $D_j$ , содержащимся в прямых произведениях  $D_{j-1/2}^+ \times D_{1/2}^+$  и  $D_{j+1/2}^+ \times D_{1/2}^-$ . Разложив эти прямые произведения на неприводимые части, получим:

$$D_{j-1/2}^+ \times D_{1/2}^+ = D_j^+ + D_{j-1}^-, \quad (8)$$

$$D_{j+1/2}^+ \times D_{1/2}^- = D_{j+1}^- + D_j^+.$$

Из уравнений (8) видно, что оба спинора  $\varphi$  и  $\chi$  преобразуются по одному и тому же представлению  $D_j^+$ . Рассмотрим теперь систему из двух спинорных частиц с моментами  $j_1, j_2$ . Если полный момент системы есть  $J$ , то ее волновая функция будет преобразовываться при вращении и отражении трехмерного пространства по одному из неприводимых представлений  $D_J$ , содержащемуся в прямых произведениях представлений, по которым преобразуются неприводимые части  $\varphi$  и  $\chi$  волновых функций каждой из частиц. Как выяснено выше, неприводимые представления, по которым преобразуются  $\varphi$  и  $\chi$ , одинаковы. Кроме того, мы предполагаем тождественность трансформационных свойств волновых функций обеих частиц. Поэтому искомого неприводимого представления  $D_J$  содержится в прямом произведении  $D_{j_1}^+ \times D_{j_2}^+$ :

$$D_{j_1}^+ \times D_{j_2}^+ = D_{j_1+j_2}^+ + D_{j_1+j_2-1}^- + \dots + D_J^{(-)j_1+j_2-J} + \dots + D_{|j_1-j_2|}^+ *. \quad (9)$$

Знак при символе  $D_J$  в правой части уравнения (9) связан с четностью  $\xi$  волновой функции системы соотношением

$$(-)^{j_1+j_2-J} = (-)^J \xi. \quad (10)$$

При  $j_1 = j_2 = 1/2$ ,  $J = 0$  получаем из уравнения (9)

$$D_J^{(-)j_1+j_2-J} = D_0^-, \quad (11)$$

т. е. волновая функция является псевдоскаляром. Если при тех же условиях  $J = 1$ , то

$$D_J^{(-)j_1+j_2-J} = D_1^+, \quad (12)$$

\* Уравнение (9) справедливо только для представлений (1). В случае представления  $\hat{T}^2 = +1$  знаки при символах  $D$  в правой части уравнения (9) следует изменить на обратные.



так что, согласно (10), волновая функция оказывается вектором. Уравнениями (11), (12) в общей форме доказано утверждение, сформулированное в начале статьи.

Отметим, что в справедливости высказанных утверждений можно также убедиться нестрогим, но элементарным путем, рассмотрев, например, билинейные формы

$$U_1 \gamma_1 \gamma_3 U_2; \quad (13a)$$

$$U_1 \gamma_4 \gamma_2 U_2, \quad (13б)$$

являющиеся в случае представления (1), соответственно, псевдоскаляром и скаляром. Положив импульсы обеих частиц равными нулю, сразу же найдем, что скаляр (13б) обращается в нуль, тогда как псевдоскаляр (13а) отличен от нуля, если  $J=0$ . Для представления  $\hat{T}^2 = +1$  величина (13а) становится скаляром, а (13б) — псевдоскаляром. В этом случае волновая функция пара-состояния оказывается скаляром. Пользуясь сноской на стр. 976 и уравнением (9), нетрудно также установить, что волновая функция орто-состояния является псевдовектором. Такое же положение будет иметь место и для представления (1), если знаки матриц, преобразующих  $U_1$  и  $U_2$  при инверсии осей, различны.

Из полученных результатов следует, в частности, что нечетность S-состояний позитрония свидетельствует о тождественности матриц преобразований волновых функций электрона и позитрона, если реализуется представление (1), и о различии знаков этих матриц, если осуществляется представление  $\hat{T}^2 = +1$ . Стоит заметить, что такой же вывод автоматически следует из непосредственного рассмотрения волновых функций электрона и позитрона. Как известно, волновые функции частицы  $U_+$  и «античастицы»  $U_-$  связаны соотношением

$$U_- = \pm \hat{C} U_+^*,$$

где звездочка означает комплексное сопряжение и  $\hat{C}$  — унитарная матрица, которая при обычном выборе дираковских матриц  $\gamma_\mu$  может быть отождествлена с  $\gamma_2$  <sup>(3,4)</sup>. При инверсии осей для представления (1) имеем

$$\begin{aligned} U_+ \rightarrow U'_+ &= \pm i \gamma_4 U_+, \\ U_- \rightarrow U'_- &= \pm i \gamma_4 \hat{C} U_+^* = \pm i \gamma_4 U_-, \end{aligned}$$

тогда как для случая  $\hat{T}^2 = +1$  находим:

$$\begin{aligned} U_+ \rightarrow U'_+ &= \pm \gamma_4 U_+, \\ U_+ \rightarrow U'_- &= \mp \gamma_4 \hat{C} U_+^* = \pm \gamma_4 U_-. \end{aligned}$$

В заключение укажем, что установление четности пара- и орто-состояний других систем является одним из средств выявления природы различных спинорных частиц.

Московский государственный  
университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
21 XI 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. Б. Берестецкий, ЖЭТФ, **21**, 93 (1951). <sup>2</sup> Г. Ф. Жарков, ЖЭТФ, **20**, 493 (1950). <sup>3</sup> И. С. Шапиро, ЖЭТФ, **22**, 524 (1952). <sup>4</sup> В. Паули, Релятивистская теория элементарных частиц, ИЛ, М., 1947.



К. К. ВОТИНЦЕВ

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПРИБАЙКАЛЯ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 13 II 1954)

Для познания круговорота веществ в водах оз. Байкал необходимо изучение состава вод выпадающих на поверхность озера атмосферных осадков. Особое значение вопрос этот имеет для проблемы динамики биогенных элементов, в частности динамики соединений азота. В связи с отсутствием сведений о химическом составе вод атмосферных осадков, выпадающих на территории Прибайкалья, мы в течение 1951—1953 гг. провели ряд анализов дождевых и снеговых вод, собранных в районе пос. Большие Коты на западном берегу Южного Байкала. Всего исследовано 4 пробы дождевых вод, 4 пробы снега и 1 проба изморози. Дождевая вода собиралась непосредственно в большие алюминиевые тазы, выставляемые на дождь, снег — в хорошо пропаренные и выщелоченные водой широкогорлые склянки. До анализа пробы хранились не более 2—3 суток. Анализы выполнялись по обычной методике гидрохимических исследований. Приведем краткую характеристику отобранных проб.

14 VIII 1951 г.— сильный продолжительный дождь; проба отобрана на второй день ненастья. 27 VIII 1951 г.— кратковременный 1½-часовой дождь после длительного периода ясной сухой погоды. 14 XI 1951 г.— продолжительный снег; для анализа взят верхний 2—3-сантиметровый слой. 29 XI и 9 XII 1951 г.— кратковременные снегопады; для анализов отобраны поверхностные пробы. 12 I 1952 г.— суточный снегопад; проба собиралась на фанерном щите в течение всего периода снегопада. 29 I 1952 г.— изморозь, выпала за предшествующую ночь на поверхность ледяного покрова озера в форме крупных кристаллов; для анализа собраны кристаллы. 18 VII 1953 г.— кратковременный ливневый дождь с грозой. 9 IX 1953 г.— 4-часовой мелкий дождь.

Необходимо отметить, что все отобранные пробы (исключая изморозь) отличались значительной мутностью. В связи с этим для анализов пробы предварительно фильтровались. Определение перманганатной и бихроматной окисляемости велось в нефiltroванных образцах.

Результаты анализов, сведенные в табл. 1, позволяют сделать следующие выводы.

По своему химическому составу воды атмосферных осадков исследуемого района относятся к бикарбонатно-кальциевым водам. Общая минерализация их, выражаемая суммой ионов главных компонентов солевого состава, лежит в пределах 7—9 мг/л, т. е. незначительна. Также незначительно и содержание соединений биогенных элементов — азота, фосфора, кремния. Исключение составляют грозовые дожди, несущие повышенные количества аммонийного и нитратного азота.

## Химический состав вод атмосферных осадков Прибайкалья

Ингредиенты	14 VIII 1951 г.	27 VIII 1951 г.	18 VII 1953 г.	9 IX 1953 г.	14 XI 1951 г.	28 XI 1951 г.	9 XII 1951 г.	42 I 1952 г.	29 I 1953 г.
	Дождевые воды				Снеговые воды				Изморозь
HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup> , мг/л	5,87	4,88	4,88	5,36	4,39	4,88	5,86	5,90	4,24
Cl <sup>'</sup> , "	0,3	0,3	0,2	0,3	0,25	0,2	0,2	0,2	—
SO <sub>4</sub> <sup>"</sup> , "	0,8	0,7	0,6	—	0,7	0,6	0,6	0,6	—
Ca <sup>"</sup> , "	2,1	1,8	1,6	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,1
Mg <sup>"</sup> , "	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	—	—
K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> , мг/л Na <sup>+</sup>	нет	0,10	0,20	—	нет	0,10	0,05	—	—
N аммиачный, мг/л	0,03	0,04	0,14	0,04	0,02	0,02	0,07	0,02	0,00
N нитратный, "	0,009	—	0,016	0,007	0,009	0,005	0,007	0,005	0,003
P фосфатный, "	следы	—	0,007	0,008	0,007	0,005	0,010	0,005	следы
Si, мг/л	0,149	0,149	0,084	0,121	0,098	0,112	0,121	0,075	0,030
Окисляемость, мг/л O <sub>2</sub> :									
перманган. кисл.	2,09	2,72	1,28	1,21	2,52	2,14	1,75	1,80	0,87
перманган. нейтр.	—	—	0,46	0,54	1,11	0,97	0,84	0,86	0,40
бихроматная	2,68	3,66	2,06	2,17	3,05	3,00	2,40	2,47	1,29
O <sub>2</sub> перм. кисл.									
O <sub>2</sub> бихроматн., %	78,3	74,3	62,1	55,7	82,6	71,3	72,9	72,8	67,4
O <sub>2</sub> перм. нейтр.									
O <sub>2</sub> перм. кисл., %	—	—	36,0	44,6	44,0	45,7	48,3	47,8	46,0

Содержание органического вещества в водах атмосферных осадков, напротив, весьма значительно. Величины бихроматной окисляемости достигают 3—3,5 мг/л O<sub>2</sub>, перманганатной (по Кубелю) 2,0—2,5 мг/л O<sub>2</sub>. Нам кажется, что столь высокое содержание в водах атмосферных осадков органического вещества обусловлено влиянием тайги: воздух в районе исследований постоянно содержит различные летучие органические вещества, выделяемые растениями (эфирные масла, смолистые вещества и пр.), а летом, кроме того, массу пыльцы хвойных.

Как показывает отношение кислорода нейтральной перманганатной окисляемости к кислороду кислой перманганатной окисляемости, а также отношение кислорода кислой перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной, значительная доля органического вещества вод атмосферных осадков представлена нестойкими к окислению соединениями.

В табл. 2 мы приводим некоторые данные, характеризующие роль атмосферных осадков в общем балансе соединений биогенных элементов в водах оз. Байкал. Общие количества азота, фосфора и кремния, вносимые в течение года в Байкал с водами атмосферных осад-

Таблица 2

Роль атмосферных осадков в балансе соединений биогенных элементов в водах трофогеенного слоя оз. Байкал

Элементы	Годовой при- ход с атм. осадками (А)	Содержание в водах тро- фогенного слоя (Б)	А : Б, %
	Т О Н Н		
Азот нитрат- ный и амми- ачный . . .	316	35900	0,88
Фосфор фос- фатный . . .	66	20700	0,31
Кремний . . .	1016	782200	0,13

ков, подсчитаны нами исходя из дебита последних <sup>(1)</sup> и среднего содержания в них указанных элементов. Содержание азота, фосфора и крем-



ния в водах трофогенного слоя озера вычислено по данным <sup>(2)</sup> и принято равным: азота, его минеральных соединений 45,6 мг/м<sup>3</sup>, фосфатного фосфора 26,3 мг/м<sup>3</sup>, кремния 993 мг/м<sup>3</sup>. Объем водных масс трофогенного слоя принят равным 787,5 млрд. м<sup>3</sup> (площадь озера равна 31500 км<sup>2</sup>, мощность трофогенного слоя 25 м).

Легко видеть, что роль атмосферных осадков в общем балансе соединений биогенных элементов в трофогенном слое озера крайне незначительна.

Физико-химический институт  
при Иркутском государственном университете  
им. А. А. Жданова

Поступило  
30 XI 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Г. Ю. Верещагин, Байкал, Иркутск, 1947.    <sup>2</sup> К. К. Вотинцев, Гидрохимия озера Байкал, Диссертация, 1952.



В. Б. МИЛИН

## ОБ АНОМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ В АТМОСФЕРЕ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 28 I 1954)

Большая изменчивость электрического поля в приземном слое атмосферы зависит от различного рода метеорологических явлений. Резкие изменения градиента потенциала в связи с осадками, облачностью, грозами дают значительные отклонения от величины градиента «нормального» поля, наблюдающегося при ясной безоблачной погоде. Эта связь является не причинной, а косвенной, так как она в основном обусловлена изменением объемных зарядов и их распределением в атмосфере, а также изменением проводимости под воздействием различных метеорологических элементов.

Для нормального поля наблюдается обычно уменьшение градиента потенциала с поднятием вверх. Такое распределение поля может быть объяснено наличием в нижних слоях атмосферы пространственного заряда, объемная плотность которого  $\rho$  убывает с высотой.

Аномальные поля с быстрыми и нерегулярными колебаниями наблюдаются при осадках, влияние которых на поле весьма сложно и мало изучено. Большой интерес представляют аномальные поля при облачности. Наблюдения, проведенные Главной геофизической обсерваторией в 1949—1950 гг. над распределением электрических полей в свободной атмосфере, измерения распределения градиента потенциала электрического поля по высоте в приземном слое атмосферы, проведенные в Кировском педагогическом институте им. В. И. Ленина в 1952—1953 гг., показали, что в условиях облачности наблюдается возрастание градиента потенциала с высотой.

Учитывая, что влияние облачности должно сказаться на распределении и величине объемных зарядов, сравним картину высотного распределения  $\rho$  при нормальных полях и аномальных, искаженных воздействием облаков.

На рис. 1 представлен ход  $\rho$  с высотой по наблюдениям ГГО<sup>(1)</sup> в безоблачные ясные дни (кривая I) и в дни с облачностью (кривая II). Как показывают графики, ход плотности объемных зарядов связан

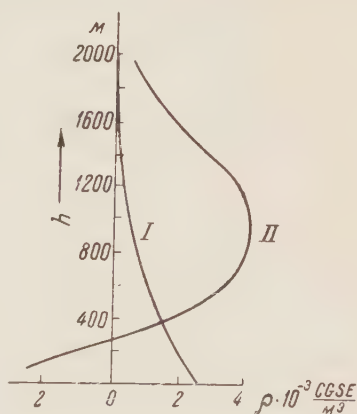


Рис. 1

с резким убыванием  $\rho$  с высотой при нормальных полях и противоположен в дни с облачностью. В последних случаях объемные заряды могут, как это наблюдается на высоте 900 м, превышать почти в 2 раза наземные значения  $\rho$  и в 10 раз превышать значения  $\rho$  на этой же высоте в ясные дни.

Эти данные убедительно показывают характер изменений в распределении объемных зарядов в атмосфере под воздействием облаков, что приводит к соответствующему изменению в ходе градиента потенциала с высотой.

Закономерности возрастания градиента потенциала с высотой для аномального поля и убывания градиента потенциала с высотой для нормального поля тесно связаны с условиями турбулентного обмена, плотностью объемных зарядов и полярной проводимостью воздуха.

Теория изменения градиента потенциала с высотой для нормального поля была представлена рядом авторов<sup>(2,3)</sup> и экспериментально подтверждена.

Как известно, изменение градиента потенциала с высотой может быть описано выражением вида:

$$i = \lambda \frac{dV}{dh} + k \frac{d\rho}{dh}, \quad (1)$$

где  $i$  — вертикальный электрический ток в атмосфере, выраженный как сумма тока проводимости и тока, обусловленного переносом объемных зарядов вследствие турбулентного перемешивания;  $\lambda$  — проводимость атмосферы;  $dV/dh$  — градиент потенциала электрического поля в атмосфере;  $\rho$  — плотность объемных зарядов;  $k$  — коэффициент турбулентного обмена.

Мною и С. Г. Малаховым было показано<sup>(2)</sup>, что для приземного слоя атмосферы, где  $\lambda$  можно принять постоянным, а коэффициент турбулентности увеличивающимся с высотой по степенному закону  $k = k_1 h^{1-\varepsilon}$  ( $\varepsilon$  — показатель устойчивости атмосферы), общее решение этого уравнения получается в функциях Бесселя и имеет вид:

$$y = \frac{dV}{dh} = \frac{i}{\lambda} + \sqrt{h} \left\{ AJ_{\frac{1}{1+\varepsilon}} \left( \frac{2\sqrt{D}}{1+\varepsilon} h^{\frac{1+\varepsilon}{2}} \right) + BN_{\frac{1}{1+\varepsilon}} \left( \frac{2\sqrt{D}}{1+\varepsilon} h^{\frac{1+\varepsilon}{2}} \right) \right\}, \quad (2)$$

где  $D = -4\pi\lambda/k_1$ , и для случая нормального поля решение уравнения (1)

$$y = \frac{i}{\lambda} + B' x^n K_n(x), \quad (3)$$

где  $n = \frac{1}{1+\varepsilon}$  — индекс функции Макдональда.

Рассматривая задачу об изменении градиента потенциала с высотой для аномальных полей, для случая роста градиента потенциала по мере поднятия вверх, исходя из общего решения (2), можем записать:

$$y = \frac{i}{\lambda} + \{A' x^n I_n(x) + B' x^n K_n(x)\}. \quad (4)$$

Из (4) следует:

1) при  $x \rightarrow 0$ , при  $n > 0$ ,  $x^n I_n(x) \rightarrow 0$ ,  $x^n K_n(x) \sim 1$ ,  $y \rightarrow y_0 = \frac{i}{\lambda} + B'$ ;

2) при  $x \rightarrow \infty$   $x^n K_n(x) \rightarrow 0$ ,  $y \rightarrow \infty$ .

Имея значения  $y_1, y_2, y_3, y_4$  на четырех фиксированных высотах, можно найти значения постоянных  $A'$  и  $B'$ :



$$A' = \frac{y_1 - y_2 - B' [x_1^n K_n(x_1) - x_2^n K_n(x_2)]}{x_1^n I_n(x_1) - x_2^n I_n(x_2)} = \frac{y_3 - y_4 - B' [x_3^n K_n(x_3) - x_4^n K_n(x_4)]}{x_3^n I_n(x_3) - x_4^n I_n(x_4)}, \quad (5)$$

откуда

$$B' = \frac{[x_1^n I_n(x_1) - x_2^n I_n(x_2)] (y_3 - y_4) - (y_1 - y_2) [x_3^n I_n(x_3) - x_4^n I_n(x_4)]}{\alpha \beta - \gamma \delta},$$

$$\begin{aligned} \text{где } \alpha &= x_3^n K_n(x_3) - x_4^n K_n(x_4), \\ \beta &= x_1^n I_n(x_1) - x_2^n I_n(x_2), \gamma = x_1^n K_n(x_1) - x_2^n K_n(x_2), \\ \delta &= x_3^n I_n(x_3) - x_4^n I_n(x_4). \end{aligned}$$

Определив  $A'$  и  $B'$ , можно воспользоваться формулой (4), написанной в виде

$$y = y_0 - B' + A' x^n I_n(x) + B' x^n K_n(x),$$

как расчетной для определения градиента потенциала на любой высоте при полях, возрастающих с высотой.

При вычислении градиента потенциала для достаточно больших высот, когда значением второго члена в фигурной скобке уравнения (4) можно пренебречь, решение получит вид:

$$y = \frac{dV}{dh} = \frac{i}{\lambda} + A' x^n I_n(x). \quad (7)$$

Из (7) легко получить связь между значениями градиента потенциала  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  на трех произвольно выбранных высотах  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ :

$$\frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x_3^n I_n(x_3) - x_1^n I_n(x_1)}{x_2^n I_n(x_2) - x_1^n I_n(x_1)}. \quad (8)$$

Из (8) можно получить расчетную формулу для определения градиента потенциала в приземном слое атмосферы, если известны градиенты потенциала на двух высотах:

$$y_3 = y_1 + \frac{(y_2 - y_1) [x_3^n I_n(x_3) - x_1^n I_n(x_1)]}{x_2^n I_n(x_2) - x_1^n I_n(x_1)}. \quad (9)$$

Для проверки расчетов мною использованы измерения градиента потенциала, проведенные Главной геофизической обсерваторией в 1949—1950 гг. (1). Для этой цели из приведенной в цитируемой статье таблицы выбраны возрастающие с высотой профили градиента потенциала в в/см.

Таблица 1

Дата измерения	$h$ , м			$dV/dh$ на высоте 250 м по формуле (9)
	50	150	250	
8 VIII 1949 г.	1,1	1,5	1,9	1,97
11 VIII 1949 г.	1,4	1,5	1,6	1,61
18 VII 1950 г.	1,0	1,2	1,5	1,42
21 VII 1950 г.	0,8	0,9	1,1	1,01
10 VIII 1950 г.	0,1	0,2	0,3	0,3
25 VIII 1950 г.	1,0	1,1	1,3	1,21

Сравнение чисел табл. 1, полученных для случая слабой турбулентности, считая, что  $k_1 = 10^2$  см<sup>2</sup>/сек, при  $\varepsilon = 0$ ,  $\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$  сек<sup>-1</sup>, показывает достаточно хорошее согласие результатов вычислений с данными наблюдений.

Кировский государственный  
педагогический институт  
им. В. И. Ленина

Поступило  
20 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. М. Имянитов, Труды ГГО, в. 35 (97) (1952). <sup>2</sup> В. Б. Милин, С. Г. Малахов, Изв. АН СССР, сер. геофиз., **3** (1953). <sup>3</sup> П. Н. Тверской, М. П. Тимофеев, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., **12**, 5 (1948).

Академик В. В. ШУЛЕЙКИН

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ЗАОСТРЕНИЯ ВЕРШИН ВОЛН

В прошлом году нами была сделана первая попытка <sup>(1)</sup> объяснить заостренную форму вершин ветровых волн. В статье молчаливо принималось, что скорость дрейфового течения постоянна на протяжении оси  $x$  и во времени. При таком допущении выходило, что для удовлетворения формальных условий <sup>(2)</sup> необходимо считать угловую скорость  $\omega$  обращения частиц колеблющейся во времени около среднего значения  $2\pi/T$  (наибольшей при вершинах и наименьшей у подошв волн). Однако этот вывод, не противоречивший кажущейся картине движения в бассейне, оказался несостоятельным в свете дальнейших наших исследований по вопросу о питании волн энергией ветра <sup>(2)</sup> и вопросу нарастания длины волн <sup>(3)</sup>: условия для потенциальной энергии и момента количества движения не совместимы с колебанием  $\omega$  в пределах одного периода  $T$ . С другой стороны, при больших значениях  $h/\lambda$  даже без воздействия ветра волны могут принимать форму, отличающуюся от трохойды.

Значит, надо искать иную схему для перехода от вспомогательного эллипса <sup>(1)</sup> с полуосями  $a, b$  к действительной орбите: окружности радиуса  $r_0 = b$  для поверхностных частиц. Неоспоримые геометрические соотношения рис. 3 в цитированной статье <sup>(1)</sup> остаются в силе, невзирая на то, что теперь мы задаемся новым условием

$$\omega = \bar{\omega} = \frac{2\pi}{T} = \text{const.};$$

Для получения прежнего типичного профиля ветровой волны теперь будет необходимо считать скорость переносного движения непостоянной, колеблющейся на протяжении длины волны. Действительно, представим себе, что скорость течения, сопутствующего волнам, складывается из постоянной величины  $u_0$  и величины  $u$ , колеблющейся на протяжении  $\lambda$ . Угол поворота  $\theta$  будем отсчитывать от нижней части координатной оси  $Y$ . Тогда вместо уравнения (8) статьи <sup>(1)</sup> придется записать иное:

$$\int_0^t (c + u_0 + u) dt = R\theta + (a - b) \sin \theta; \quad (1)$$

продифференцировав его по времени  $t$ , получим:

$$(c + u_0) + u = R \frac{d\theta}{dt} + (a - b) \cos \theta \frac{d\theta}{dt}. \quad (2)$$

Здесь попрежнему  $R$  обозначает так называемый радиус круга качения, связанный с длиной волн ( $R = \lambda/2\pi$ ). Величина  $d\theta/dt = \omega$  в новой схеме постоянна. С другой стороны, как легко видеть,

$$c + u_0 = R\omega. \quad (3)$$

Следовательно,

$$u + \omega(a - b) \cos \theta. \quad (4)$$

Итак, прежний профиль ветровой волны может возникнуть при постоянной величине  $\omega$  и переменной скорости переносного движения.

Попытаемся сейчас теоретически обнаружить причину колебания скорости переносного движения, начав исследование с простейшего случая: с волны, распространяющейся при отсутствии ветра.

Выделим горизонтальный слой воды, верхней границей которого в состоянии покоя является поверхность моря, а нижней — плоскость, отстоящая от нее вниз на весьма малое расстояние  $y$ . Во время волнения частицы, лежащие на этих плоскостях, станут описывать окружности, изображенные на рис. 1 настоящей статьи. В связи с этим при отходе частиц от начала отсчета на угол  $\theta$  толщина слоя  $y$  превращается в переменную величину  $\eta$ , которую с достаточным приближением можно выразить так:

$$\eta = y - (r_0 - r) \cos \theta = y - r_0(1 - e^{-y/R}) \cos \theta \approx y \left(1 - \frac{r_0}{R} \cos \theta\right). \quad (5)$$

Именно по такой причине выделенный слой, как известно, становится утолщенным близ вершин и утоньшенным близ подошв.

Вырежем полосу единичной ширины вдоль направления распространения волн. Тогда при угловой скорости орбитального движения  $\omega$  в «единичном канале» с поперечным сечением  $1 \times \eta$  будет проходить поток  $\Phi_\theta$ :

$$\Phi_\theta = \omega r_0 y \left(1 - \frac{r_0}{R} \cos \theta\right). \quad (6)$$

При изменениях  $\theta$  от  $\pi$  до  $2\pi$  будет непрерывно уменьшаться число частиц между крайними. Поэтому, в соответствии с условием неразрывности, часть воды будет вынуждена переходить из орбитального движения в поступательное, направленное в сторону распространения волн. При изменениях  $\theta$  от 0 до  $\pi$  вода будет как бы «подсасываться» сзади, следуя в том же горизонтальном направлении.

Дадим углу  $\theta$  приращение  $d\theta$ . Тогда  $\Phi_\theta$  испытает изменение  $d\Phi$ , которое найдем, взяв дифференциал от обеих частей уравнения (6):

$$d\Phi = \omega \frac{r_0^2}{R} y \sin \theta d\theta. \quad (7)$$

От этого изменения потока  $\Phi$  перейдем к изменению скорости  $w$  поступательного движения вод, разделив  $d\Phi$  на переменную площадь поперечного сечения  $\eta$  и изменив знак на обратный, поскольку  $w$  возрастает благодаря убыванию  $\Phi$ :

$$dw = -\omega \frac{r_0^2}{R} \frac{\sin \theta}{1 - \frac{r_0}{R} \cos \theta} d\theta. \quad (8)$$

Проинтегрировав (8), найдем выражение для скорости  $w$ :

$$w = -\omega r_0 \ln \left(1 - \frac{r_0}{R} \cos \theta\right) + N \approx \omega \frac{r_0^2}{R} \cos \theta + N. \quad (9)$$

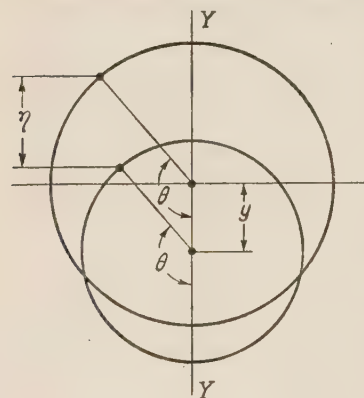


Рис. 1



Остальными членами ряда при разложении логарифма пренебрегаем, делая ошибку менее 10% при не слишком больших значениях  $r_0/R$ . При вершине волн «орбитальный» поток идет сквозь наибольшее возможное поперечное сечение; следовательно, поступательное компенсационное течение здесь приостанавливается.

В связи с этим, подставив в (9) частное значение  $\theta = \pi$ , запишем:  

$$-\omega \frac{r_0^2}{R} + N = 0. \text{ Следовательно,}$$

$$\overline{w} = \omega \frac{r_0^2}{R} (1 + \cos \theta). \quad (10)$$

Итак, скорость поступательного движения вод действительно колеблется на протяжении длины волны. На основании (10) осредненное значение этой скорости  $\overline{w}$  равно величине, которую еще в прошлом веке определили гидродинамисты чисто формальным методом и которую до настоящего времени считали постоянной:

$$\overline{w} = \omega \frac{r_0^2}{R} = r_0^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 c. \quad (11)$$

Здесь через  $c$  обозначена фазовая скорость волн на неподвижной воде. На время предположим, что скорость поступательного движения одинакова на всех глубинах. Тогда в уравнении (3) можно будет считать  $u_0 = \omega r_0^2/R$ , а на основании (4) и (10) можно будет записать для переменной составляющей:

$$\omega(a - b) \cos \theta = \omega \frac{r_0^2}{R} \cos \theta. \quad (12)$$

Разделим левую часть (12) на  $\omega b \cos \theta$ , а правую на равную величину  $\omega r_0 \cos \theta$ . Тогда окажется после преобразований:

$$\frac{a}{b} = 1 + \frac{r_0}{R}. \quad (13)$$

Как видно, даже при отсутствии ветра профиль волн должен отличаться от трохлоиды, и тем сильнее, чем больше отношение  $r_0/R$ .

Необходимо отметить, что в действительности скорость поступательного движения, найденная нами для поверхностных частиц, уменьшается на глубинах по тому же экспоненциальному закону, по какому уменьшаются квадраты радиуса орбиты. По этой причине скорость переносного движения, налагающаяся на фазовую скорость волн  $c$ , должна быть меньше величины, записанной в (10). Известно, что скорость волн конечной амплитуды отличается от фазовой скорости бесконечно низких волн на величину, составляющую ровно половину от  $\overline{w}$  в (11). Поэтому уместно будет ожидать, что и в общем выражении (10) скорости переносного движения появляется поправочный множитель  $1/2$ . Однако величина этого поправочного множителя практически никак не отражается на форме профиля волн. Действительно, пусть он равен какой-то правильной дроби  $\beta$ . Тогда скорость переносного движения, налагающаяся на фазовую скорость волн, будет  $\beta \overline{w}$ , где  $\overline{w}$  выражается формулой (10). Одновременно возникает остаточная скорость  $(1 - \beta) \overline{w}$ , которая будет арифметически складываться с орбитальной скоростью  $\omega r_0$  у вершин волн и арифметически вычитаться из нее у подошвы. В результате возникает смешанная задача: будет меняться во времени и скорость переносного движения (по нашей второй схеме) и кажущимся образом будет меняться скорость орбитального движения (аналогично нашей первой схеме). Легко доказать, что нет надобности решать такую осложненную задачу, а достаточно учесть оба явления, введя в кинематические условия полную величину  $\overline{w}$  из (10).

В законности подобных действий убеждает построение профиля так называемой «предельно-крутой» волны, основанное на (10) и на представлении о постоянной угловой скорости  $\omega$ . Не приводя его здесь, ограничимся лишь приближенным подсчетом величины  $a/b$  по (13), внося туда числовое значение  $r_0/R$ , которое заимствуем из материала статьи (1). Соответственно  $h/\lambda = 0,143$ , положим  $r_0/R = 0,45$ . Тогда по (13) окажется  $a/b = 1,45$ . Между тем, в цитированной статье, мы получили для волны, близкой к теоретическому профилю наибольшей крутизны,  $a/b = 1,56$ . Различие между этими значениями составляет всего лишь 7%.

Теперь исследуем профиль ветровой волны, неразрывно связанной с наличием дрейфового течения. Обозначим через  $\bar{u}$  скорость дрейфового течения, осредненную на протяжении длины волны. Вопреки установившимся представлением, мгновенные значения  $u$  будут колебаться около  $\bar{u}$ , в соответствии с условием неразрывности

$$u\eta = \bar{u}y. \quad (14)$$

Подстановка выражения  $\eta$  из (5) в (14) дает

$$u = \frac{\bar{u}}{1 - \frac{r_0}{R} \cos \theta}. \quad (15)$$

Подобно (9), упростим и это соотношение, внося некоторую небольшую погрешность; с точностью до величин первого порядка запишем:

$$u \approx \bar{u} \left( 1 + \frac{r_0}{R} \cos \theta \right). \quad (16)$$

Теперь в уравнении (3) надо будет учесть обе части постоянной составляющей течения: и  $\omega r_0^2/R$  и  $\bar{u}$ . В уравнении (4) переменная составляющая теперь будет обусловлена и особенностями орбитального движения, описанными выше, и пульсацией дрейфового течения. Учтя и то, и другое, получим на основании (4), (10), (16):

$$\omega(a - b) = \omega \frac{r_0^2}{R} + \bar{u} \frac{r_0}{R}. \quad (17)$$

Прежним приемом преобразуем (17), причем попутно исключим  $\omega$ , выразив ее через линейную скорость  $v$  орбитального движения:  $\omega = v/r_0$ . В результате окажется:

$$\frac{a}{b} = 1 + \frac{r_0}{R} \left( 1 + \frac{\bar{u}}{v} \right). \quad (18)$$

Столь же просто, но менее точно решается обратная задача: по фотографии профиля волн может быть (посредством формулы (2) из статьи (1)) определено отношение  $a/b$ . Подставив найденное значение  $a/b$  в уравнение

$$\frac{\bar{u}}{v} = \frac{R}{r_0} \left( \frac{a}{b} - 1 \right) - 1, \quad (19)$$

вытекающее из (18), найдем скорость  $\bar{u}$  дрейфового течения \*.

Морской гидрофизический институт  
Академии наук СССР

Поступило  
12 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. В. Шулейкин, ДАН, 93, № 2, 265 (1954). <sup>2</sup> В. В. Шулейкин, ДАН, 94, № 4, 677 (1954). <sup>3</sup> В. В. Шулейкин, ДАН, 94, № 6, 1049 (1954).

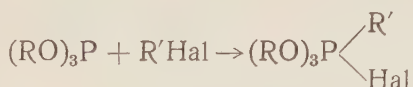
\* Точнее — проекцию скорости течения на направление движения ветровых волн.

В. С. АБРАМОВ

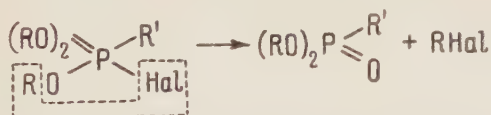
# О РЕАКЦИИ АЛЬДЕГИДОВ С ФОСФИТАМИ

(Представлено академиком А. Е. Арбузовым 21 I 1954)

А. Е. Арбузовым <sup>(1)</sup> открыта замечательная реакция превращения эфиров фосфористой кислоты под действием галоидных алкилов в эфиры алкилфосфиновых кислот, которая ныне называется арбузовской перегруппировкой. Арбузовская перегруппировка является весьма плодотворным методом получения эфиров алкилфосфиновых кислот. Скорость протекания арбузовской перегруппировки, при прочих равных условиях, зависит от природы галоидного алкила. Наибольшая скорость получается при действии иодистых алкилов, наименьшая — при хлористых, бромистые занимают середину <sup>(2)</sup>. Или, другими словами, эта перегруппировка протекает тем легче, чем сильнее в фосфитах развита способность к реакциям присоединения. Реакция присоединения галоидных алкилов к фосфитам является первой стадией арбузовской перегруппировки и изображается схемой.

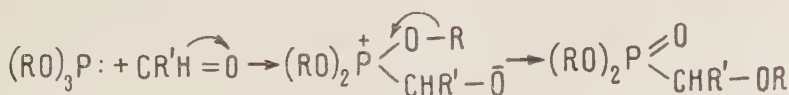


Во второй стадии идет отщепление галоидного алкила, но галоид уходит не тот радикал, который непосредственно связан с фосфором, а один из тех, которые связаны с фосфором через кислород:



Фосфиты, имеющие уединенную пару электронов, являются в этой реакции электронодонором, тогда как галоидные алкилы, имеющие полярный характер, являются электроноакцепторами. Реакция протекает с галоидными алкилами, имеющими полярность, которая, очевидно, и обуславливает протекание реакции с фосфитами. Надо полагать, что фосфиты должны реагировать и с другими электронофильными веществами, которые имеют полярный характер, такими, например, как альдегиды. Действительно, как показал опыт, фосфиты реагируют с альдегидами.

Реакцию фосфитов с альдегидами можно представить схемой:



В качестве конечного продукта этой реакции должен получиться и получается эфир α-алкоксиалкилфосфиновой кислоты с одинаковыми

алкоксигруппами у фосфора и в  $\alpha$ -положении алкилгруппы. Нами получены и охарактеризованы следующие продукты (см. табл. 1).

Таблица 1

Формула полученного вещества	Т. кип. в °С и давл. в мм рт. ст.	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	MR		Выход в %*
				выч.	найд.	
$(C_2H_5O)_2P-CH-CH_2CH_3$	115—116/2	1,4340	1,036	56,76	54,30	22,5
$(C_2H_5O)_2P-CH-CH_2CH_2CH_3$	119—120/1	1,4420	1,054	60,38	59,85	23,8
$(C_2H_5O)_2P-CH<\text{C}_6\text{H}_5$	174—178/2	1,5075	1,180	72,16	72,72	16,7
$(C_2H_5O)_2P-CH<\text{C}_6\text{H}_4-CH_3$	179—182/1	1,4847	1,075	76,18	77,26	15,5

\* Выходы продуктов рассчитаны на взятые в реакцию количества; если учесть возвращенные из реакции фосфит или альдегиды, то выходы увеличиваются вдвое.

Реакция действия альдегидов на фосфиты проводилась в запаянных трубках при нагревании от 100 до 170° в течение нескольких часов. Конечная реакция определялась по исчезновению запаха фосфита. По окончании реакции продукт разгонялся в вакууме. В выбранных фракциях определялись константы, приведенные в табл. 1.

Найдена новая реакция действия альдегидов на фосфиты, которая протекает с перегруппировкой фосфитов и образованием эфиров  $\alpha$ -алкоксиалкилфосфиновых кислот. Нам кажется, что фосфиты могут реагировать также и с другими веществами, имеющими полярный характер.

Казанский химико-технологический институт  
им. С. М. Кирова

Поступило  
10 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. Д. Арбузов, О строении фосфористой кислоты и ее производных, Диссертация, 1905. <sup>2</sup> А. Е. Арбузов, О явлениях катализа в области превращений некоторых соединений фосфора, Диссертация, 1914.



В. В. ПЕРЕКАЛИН и А. С. СОПОВА

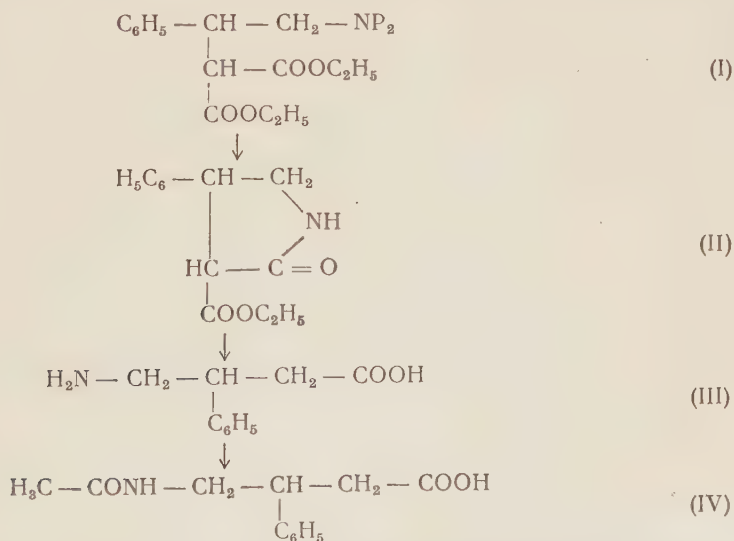
# СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ $\gamma$ -АМИНОКИСЛОТ

(Представлено академиком В. М. Родионовым 1 II 1954)

Известны лишь немногие способы синтеза  $\gamma$ -аминомасляной кислоты (<sup>1</sup>); реакции, приводящие к получению ее производных, еще менее разработаны (<sup>2-6</sup>).

Нами изучалось взаимодействие  $\phi$ -нитростирола с веществами, содержащими подвижные атомы водорода в метиленовой и метильной группах.

Взаимодействие нитростирола с этилмалоновым эфиром привело к образованию продукта конденсации — этилового эфира 1-нитро-2-фенил-3-карбэтоксимасляной кислоты (I). Были исследованы превращения этого вещества с целью синтеза производных  $\gamma$ -аминокислот.



При восстановлении (I) водородом в присутствии никелевого катализатора с выходом, близким к количественному, образовался 3-фенил-4-карбэтокси-пирролидон-5 (II), превращенный при нагревании с 20% соляной кислоты в 1-амино-2-фенилмасляную кислоту (III) (выход 75,6%). Эта аминокислота, в противоположность лактаму (II), по реакции с азотистой кислотой легко количественно обнаруживала первичную аминогруппу и при нагревании с уксусным ангидридом образовала 1-ацетиламино-2-фенилмасляную кислоту (IV) (выход 76,4%)

## Экспериментальная часть

Этиловый эфир 1-нитро-2-фенил-3-карбэтилмасляной кислоты (I). Конденсация нитростирола с этилмалоновым эфиром отличалась от его реакции с метилмалоновым эфиром <sup>(7)</sup> тем, что смешивались охлажденные растворы составных частей (в сухом метиловом спирте) и реакция проводилась 2 часа при 30—35°. Продукт (I) — белые звездообразные кристаллы, т. пл. 64° из метилового спирта, легко растворим в метиловом и этиловом спирте, ацетоне, бензоле. Выход 51,4% теоретического.

Найдено %: N 4,72; 4,73; M 303  
 $C_{15}H_{19}O_6N$ . Вычислено %: N 4,53; M 309

3-Фенил-4-карбэтилпирролидон-5 (II). Взвесъ 5 г специально приготовленного никелевого катализатора <sup>(8)</sup> и 70 мл метилового спирта насыщалась водородом в течение 2 час. до полного прекращения его поглощения при комнатной температуре и при энергичном встряхивании. Затем в токе водорода прибавлялся раствор 5 г (I) в 10 мл метилового спирта. Гидрирование проводилось при температуре 30—40° и при сильном встряхивании, в течение 5 час. поглотилось 1000 мл водорода (по расчету должно было поглотиться 1050 мл). Катализатор отделялся фильтрованием, и спиртовой фильтрат упаривался до 0,2 первоначального объема.

Через 12—14 час. выделялся продукт (II) (белые кристаллы); т. пл. 132° (из метилового спирта); легко растворим в метиловом и этиловом спирте, труднее в воде. Положительная реакция на первичную аминогруппу наступает при действии на водный раствор вещества и нитрата натрия двойного избытка соляной кислоты и нагревании раствора на кипящей водяной бане. Выход 3,53 г, 97% теоретического.

Найдено %: C 66,82; 66,81; H 6,48; 6,62; N 6,34; 6,18; M 220; 231  
 $C_{13}H_{15}O_3N$ . Вычислено %: C 66,91; H 6,48; N 6,00; M 233

1-Амино-2-фенилмасляная кислота (III). 3 г (II) кипятились 16 час. в 300 мл 18% соляной кислоты; постепенно весь осадок растворялся. Продукт, полученный выпариванием раствора на водяной бане, растворялся в 10 мл воды и нейтрализовался 10% водным раствором соды. Раствор двукратно обрабатывался 25 мл эфира, выпаривался до 0,1 первоначального объема. После разбавления двукратным количеством этилового спирта выделялась кислота (III) — белые игольчатые кристаллы; т. пл. 209° (из водного этилового спирта). Кислота легко растворима в холодной воде, рН водного раствора 6,5, нерастворима в метиловом и этиловом спиртах, ацетоне, хлороформе, четыреххлористом углероде, бензоле, пиридине. Выход 1,74 г, 75,6% теоретического.

Найдено %: C 66,91; 67,28; H 7,55; 7,51; N 7,90; 7,82; M 167,5; 174,8  
 $C_{10}H_{13}O_2N$ . Вычислено %: C 66,99; H 7,31; N 7,82; M 179

Определение первичной амногруппы 'в (III). Определение производилось по обычному методу при действии на солянокислый раствор аминокислоты водного раствора нитрита натрия.

Найдено %: N 7,95; 8,10  
 $C_{10}H_{13}O_2N$ . Вычислено %: N 7,82

1-Ацетиламино-2-фенилмасляная кислота (IV). 1,5 г (III) кипятились в 15 мл уксусного ангидрида в течение 3 час.; после охлаждения раствор фильтровался и нейтрализовался 10% вод-

ным раствором соды, выделялся осадок (IV), блестящие лепестки, т. пл. 65° (из *n*-гексана); нерастворим в воде, растворим в метиловом и этиловом спирте, ацетоне, хлороформе, *n*-гексанае. Выход 1,4 г, 76,4% теоретического.

Найдено %: N 6,59  
 $C_{12}H_{15}O_3N$ . Вычислено %: N 6,33

Поступило  
11 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Синтез органических препаратов, сборн. 2, 1949, стр. 37. <sup>2</sup> W. Heintz, Chem. Ann., **198**, 42 (1879). <sup>3</sup> J. Bredt, Ber., **15**, 2320 (1882). <sup>4</sup> A. Weltner, Ber., **18**, 791 (1885). <sup>5</sup> J. Tafel, Ber., **19**, 2415 (1886). <sup>6</sup> W. Köhl, Ber., **36**, 174 (1903). <sup>7</sup> E. P. Köhler, H. Engelbrecht, J. Am. Chem. Soc., **41**, 766 (1919). <sup>8</sup> H. Adkins, H. R. Billica, *ibid.*, **70**, 695 (1948).





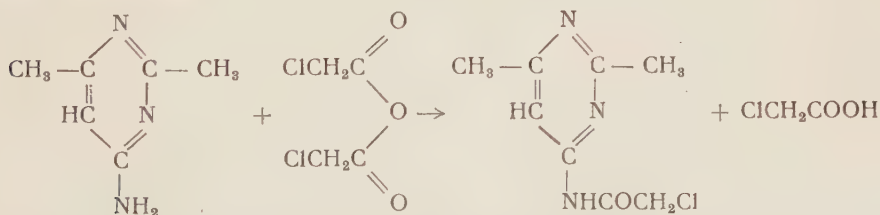
М. А. ПРОКОФЬЕВ и З. А. ШАБАРОВА

# СИНТЕЗ НЕКОТОРЫХ АМИНОАЦИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 4-АМИНОПИРИМИДИНОВ

(Представлено академиком А. Н. Несмеяновым 13 II 1954)

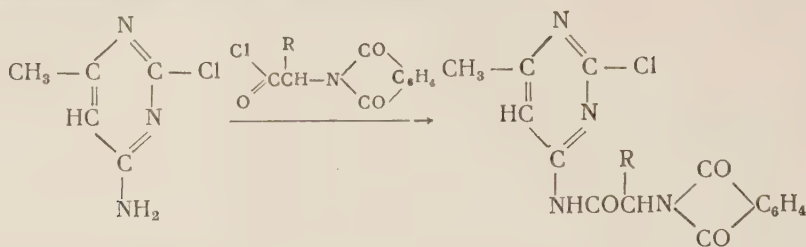
Аминоацильные производные 2-аминопиримидинов, как это было установлено нами ранее, легко могут быть получены путем взаимодействия 2-аминопиримидинов с хлорангидридами (или ангидридами)  $\alpha$ -галоидоалифатических кислот с последующей заменой атома галоида под действием жидкого аммиака на аминную группу. Эти соединения представляют собой кристаллические вещества с довольно высокой температурой плавления. Амидная связь, образованная аминоацильным остатком и аминной группой пириимидина, находящейся в положении 2, легко гидролизуется даже при непродолжительном кипячении соответствующих соединений в воде. Было установлено, что гидролитическая стойкость такого рода амидов резко возрастает, если закрыть конечную аминную группу (например, при помощи фталильной группы<sup>(1)</sup>).

Гораздо более интересным с точки зрения изучения таких структур, которые могли бы являться своеобразными моделями амидной связи между нуклеиновой кислотой и белком в нуклеопротеидах, являлось изучение аминоацильных производных 4-аминопириимидинов. На примере 4-амино-2,6-диметилпириимидина удалось показать, что галоидоацильные производные 4-аминопириимидинов могут получаться реакцией 4-аминопириимидинов с ангидридами  $\alpha$ -галоидоалифатических кислот по схеме:



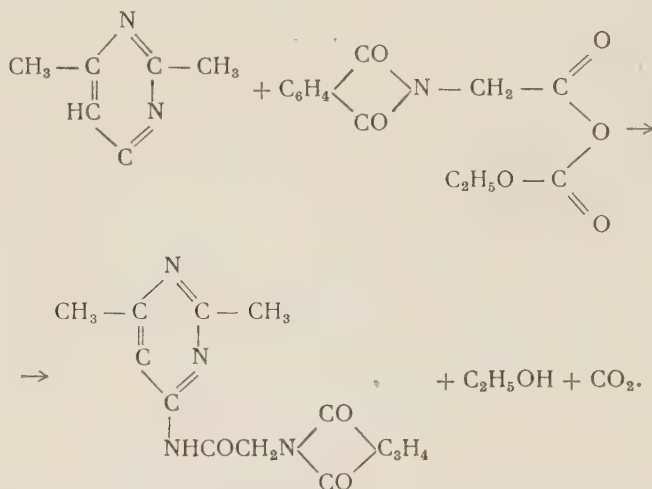
Полученное соединение устойчиво. Однако каждый раз, когда в различных условиях мы пытались получить аминоацильное производное путем замены атома галоида в 4-хлорацетиламино-2,6-диметилпириимидине на аминную группу под действием аммиака, проходил гидролиз, алкоголиз или аммонолиз (в зависимости от условий, в которых проходило аминирование) и выделялись исходные аминокпириимидин и аминокислота. Очевидно, свободные аминоацильные производные 4-аминопириимидинов крайне нестойки, амидная связь легко расщепляется водой, спиртом или аммиаком; она еще более лабильна, чем у аналогичных производных 2-аминопириимидинов.

При взаимодействии 4-аминопиримидинов с хлорангидридами фталиламинокислот происходит реакция:



где R = H, CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>.

При взаимодействии 4-аминопиримидинов со смешанными ангидридами можно получить в некоторых случаях фталиламиноацильные производные их по схеме:



Синтезированные 4-фталилглициламино-2-хлор-6-метилпиримидин, 4-фталилфенилаланиламино-2-хлор-6-метилпиримидин и 4-фталилглициламино-2,6-диметилпиримидин оказались устойчивыми кристаллическими веществами; кипячение их с водой не приводит к разложению.

Снятие фталильной группы, даже в таких мягких условиях, как действие гидразингидрата в этиловом спирте, ведет к образованию исходного пиримидина и аминокислоты, т. е. к распаду соединения по амидной связи.

### Экспериментальная часть

Получение 4-хлорацетиламино-2,6-диметилпиримидина. Смесь 2,46 г (0,02 мол.) 4-амино-2,6-диметилпиримидина и 3,42 г (0,04 мол.) ангидрида хлоруксусной кислоты в 50 мл сухого хлороформа нагревалась до кипения в течение 2 час. Раствор упаривался в вакууме досуха. Остаток обрабатывался эфиром при нагревании. Выпавший при этом кристаллический осадок отфильтровывался, промывался несколько раз эфиром и перекристаллизовывался из смеси спирта и эфира. Выход 2,7 г (68% от теоретического). Т. пл. 90—91°.

Найдено %: C 48,15; H 5,00; Cl 18,15  
C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>ON<sub>3</sub>Cl. Вычислено %: C 48,25; H 5,03; Cl 17,84

Найдено %: N 21,0  
C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>ON<sub>3</sub>Cl. Вычислено %: N 21,1

Аминирование 4-хлорацетиламино-2,6-диметилпиримидина жидким аммиаком. Раствор 0,5 г (0,0025 мол.) 4-хлорацетиламино-2,6-диметилпиримидина в 25 мл жидкого аммиака оставался в запаянной ампуле при комнатной температуре на 20 час. После удаления аммиака (с предохранением от попадания влаги воздуха) остаток экстрагировался сухим горячим бензолом. Из бензольных вытяжек на холоду выпал 4-амино-2,6-диметилпиримидин (0,2 г; 0,0017 мол.) с т. пл. 180°, не дающий депрессии температуры плавления с синтезированным 4-амино-2,6-диметилпиримидином. Остаток, не переходивший в раствор при обработке реакционной смеси бензолом, растворялся в небольшом количестве воды. После добавления к водному раствору 10-кратного количества абс. спирта выпал гликокол (0,1 г; 0,0014 мол.) с т. пл. 232°. Смешанная проба плавления с синтезированным гликоколом не дала депрессии.

Получение 4-фталилглициламино-2-хлор-6-метилпиримидина. Смесь 1,12 г (0,005 мол.) фталилглицинхлорида и 0,72 г (0,005 мол.) 4-амино-2-хлор-6-метилпиримидина в 50 мл ксилола нагревалась до кипения в течение 10 час. (за ходом реакции следили по выделяющемуся хлористому водороду). Горячий раствор отфильтровывался от небольшого осадка. Выпавшие из фильтрата на холоду иглы отфильтровывались, промывались холодным ксилолом и перекристаллизовывались из этилового спирта. Выход 1,15 г (70% теоретического). Т. пл. 247—249°. Вещество плохо растворимо в горячей воде; растворяется при нагревании в бензоле, ксилоле, диоксане.

Найдено %: С 54,52; Н 3,39; N 16,76  
 $C_{15}H_{11}O_3N_4Cl$ . Вычислено %: С 54,46; Н 3,36; N 16,94

Получение 4-фталилфенилаланиламино-2-хлор-6-метилпиримидина. Смесь 1,57 г (0,005 мол.) фталилфенилаланилхлорида<sup>(2)</sup> и 0,72 г (0,005 мол.) 4-амино-2-хлор-6-метилпиримидина в 50 мл сухого ксилола кипятилась в течение 10 час. с обратным холодильником. В течение реакции бурно выделялся хлористый водород. Горячий раствор отфильтровывался от незначительного осадка и упаривался в вакууме до  $\frac{1}{4}$  первоначального объема. Добавлением к оставшейся маслянистой жидкости 50—70 мл сухого эфира высаживался осадок, который после перекристаллизации из этилового спирта имел т. пл. 168°. Вещество плохо растворимо в горячей воде, эфире, хорошо в горячем ксилоле, диоксане. Выход чистого продукта 1,45 г (70% от теоретического).

Найдено %: С 63,18; Н 4,13; N 13,29; Cl 8,71  
 $C_{22}H_{17}O_3N_4Cl$ . Вычислено %: С 62,90; Н 4,04; N 13,30; Cl 8,44

Получение 4-фталилглициламино-2,6-диметилпиримидина. К охлажденному до 0° раствору 1,68 г фталилглицина в 20 мл абс. диоксана добавлялось 1,96 мл трибутиламина и 0,8 мл хлоругольного эфира<sup>(3)</sup>. Через 10 мин. к реакционной смеси добавлялось 1,23 г 4-амино-2,6-диметилпиримидина (наблюдалось выделение  $CO_2$ ), и смесь оставлялась на ночь при комнатной температуре. Непрореагировавший 4-амино-2,6-диметилпиримидин отфильтровывался и из фильтрата добавлением воды высаживалось вещество, которое после промывания 0,1 N соляной кислотой, 0,1 N щелочью и затем водой перекристаллизовывалось из этилового спирта. Т. пл. 235—238°.

Найдено %: С 61,73; Н 4,72; N 17,6  
 $C_{16}H_{14}O_3N_4$ . Вычислено %: С 61,94; Н 4,52; N 18,1

Снятие фталильной группы 4-фталилглициламино-2-хлор-6-метилпиримидина. Раствор 1,65 г (0,005 мол.) 4-фталил-

глициламино-2-хлор-6-метилпиримидина в 20 мл абс. этилового спирта нагревался в течение 1 часа с 5 мл 1 N раствора гидразингидрата в абс. этиловом спирте. Выпавший фталилгидразид отфильтровывался, промывался этиловым спиртом и перекристаллизовывался из воды. Не плавится при 300°.

Найдено %: N 17,48  
 $C_8H_6O_2N_2$ . Вычислено %: N 17,28

Фильтрат упаривался в вакууме досуха. Остаток дает интенсивную нингидринную реакцию. После 2 перекристаллизаций остатка из абс. этилового спирта выделен 4-амино-2-хлор-6-метилпиримидин с т. пл. 215°, не дающий депрессии температуры плавления в смеси с синтезированным препаратом.

### Выводы

1. Предложен способ получения аминокислотных производных 4-аминопиримидина путем воздействия хлорангидридов фталиламино-кислот или смешанных ангидридов фталиламино-кислот и угольной кислоты на 4-аминопиримидины.

2. Найдено, что свободные аминокислотные производные 4-аминопиримидинов крайне нестойки, амидная связь в них крайне лабильна (значительно лабильнее, чем у аналогичных производных 2-аминопиримидинов), необычайно легко гидролизуются, подвергается алкоголизу и аммонолизу.

Поступило  
29 I 1954

### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. А. Прокофьев, З. А. Румянцева, Д. Я. Росина, З. Д. Сопаг, Уч. зап. МГУ, в. 151, кн. VIII, 349 (1951). <sup>2</sup> J. C. Sheehan, V. S. Frank, J. Am. Chem. Soc., 71, 1856 (1949). <sup>3</sup> R. A. Boissonnas, Helv. Chim. Acta, 34, 874 (1951).



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

И. И. ДИЛУНГ и Б. Я. ДАИН

**ТЕМНОВЫЕ И ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛЕНОК  
ТРИФЕНИЛМЕТАНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ С КИСЛОРОДОМ  
И ВЛАГОЙ**

(Представлено академиком А. Н. Терениным 9 II 1954)

Для понимания сложных процессов, осуществляющихся при фотохимическом выцветании красителей на тканях, чрезвычайно важно раздельное изучение влияния на краситель кислорода и влаги — этих основных факторов среды. Такое изучение легче всего осуществить на твердых пленках красителей. Спектры поглощения таких пленок, весьма чувствительные к самым незначительным внешним влияниям, могут быть при этом с успехом использованы для выявления взаимодействия красителя с компонентами среды.

Используя этот метод при исследовании поведения двух трифенилметановых красителей — кристаллического фиолетового и малахитового зеленого, удалось показать, что молекулы этих красителей, находясь на твердой поверхности, уже в темновых условиях вступают во взаимодействие с парами воды даже при незначительной влажности. Образующиеся при этом лабильные ассоциаты красителей с водой, устойчивые во влажной атмосфере, будучи активированы квантами света, легко вступают во взаимодействие с кислородом. Таким образом, удастся расчленить роль кислорода и влаги в сложных процессах фотохимического выцветания красителей.

Твердые пленки красителей получались путем сливания на предварительно тщательно очищенные и слегка нагретые стеклянные пластинки концентрированных спиртовых растворов. После быстрого испарения растворителя на стекле образовывались прозрачные и совершенно равномерные слои красителей, легко подвергавшиеся фотометрированию. Покрытые пленками пластинки вводились в стеклянные пробирки, присоединявшиеся к высоковакуумной установке. Устройство и расположение частей последней позволяли вводить в реакционный объем, где находились стеклянные пластинки, тщательно высушенный воздух, а также пары воды различного давления. После проведения каждой из этих операций реакционные сосуды оттаивались от установки, и заключенные в них пленки подвергались фотометрированию на фотоэлектрическом спектрофотометре. Такая методика работы давала возможность проследить за изменениями в спектрах, зависящими от условий среды.

Как известно <sup>(1)</sup>, нанесение красителей в виде твердых пленок на стекло или кварц приводит к довольно значительным изменениям их спектров поглощения. В основе этих деформаций спектров лежат, повидимому, самые разнообразные причины, которые совершенно не выяснены. Они, однако, представляют значительный интерес в связи с важным вопросом о происхождении побочных максимумов в спектрах поглощения соответствующих растворов. Дело в том, что эти побочные максимумы

часто особенно отчетливо выступают в спектрах пленок при одновременном снижении основных максимумов. Рис. 1 иллюстрирует эти отличия в спектрах спиртового раствора и пленки, нанесенной из спиртового раствора, на примере кристаллического фиолетового. Как видно из этого рисунка, в спектре пленки особенно резко выступает максимум у 540 м $\mu$ , соответствующий по своему положению побочному максимуму спиртового раствора. Одновременно значительно снижен основной максимум у 590 м $\mu$ , характерный для раствора. Появление коротковолнового максимума удастся констатировать также в спектре пленки малахитового зеленого.

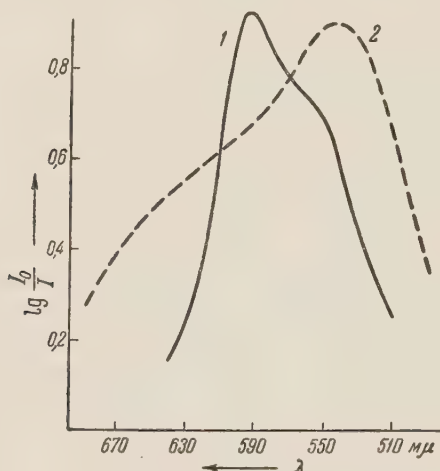


Рис. 1. Спектральные кривые поглощения кристаллического фиолетового. 1 — в спиртовом растворе, 2 — в виде твердых пленок на стекле, нанесенных из спиртового раствора

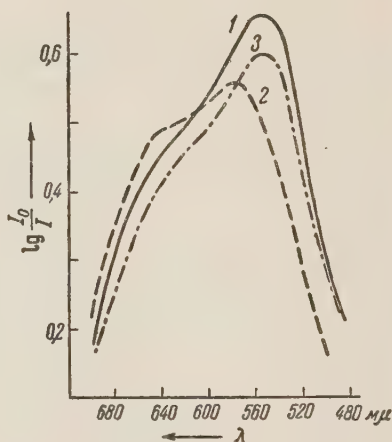


Рис. 2. Кривые поглощения пленки кристаллического фиолетового на стекле. 1 — на воздухе, 2 — в вакууме, 3 — после введения в вакуум паров воды

Как следует, однако, из описанных ниже опытов, образование этих коротковолновых максимумов является результатом действия на пленки атмосферной влаги. Откачка реакционного объема с одновременным его прогревом до 70° приводит сразу к глубоким изменениям в спектрах пленок. Характерный для пленок кристаллического фиолетового максимум у 540 м $\mu$  исчезает. Одновременно наблюдается некоторое расширение полосы поглощения. Аналогичные деформации претерпевает спектр малахитового зеленого. Полностью исчезает коротковолновая полоса поглощения у 590 м $\mu$ , выступающая отчетливо у пленки в обычных условиях, и остается лишь одна полоса с максимумом у 660 м $\mu$ . Наблюдающиеся изменения в спектрах поглощения настолько значительны, что в случае кристаллического фиолетового они сказываются отчетливо в изменениях цвета пленок, видимых на-глаз без специальных измерений.

Достижаемое в результате откачки состояние пленок вполне устойчиво и сохраняется в вакуумных условиях в течение ряда суток. Попытки регенерировать исходное состояние путем впуска в реакционное пространство тщательно высушенного воздуха не приводят к положительным результатам. Однако введение паров воды сразу регенерирует спектр, характерный для пленок в обычном состоянии и содержащий соответствующие коротковолновые максимумы. Результаты описанных опытов иллюстрируются рис. 2 и 3.

Как видно из приведенных данных, после введения в реакционный объем паров воды регенерация исходного спектра оказывается неполной, хотя характер кривых и положения максимумов совпадают с первоначальным спектром. Это объясняется некоторым испарением красителя,

происходящим в вакуумных условиях. Действительно, как это следует из данных отдельных опытов, степень регенерации спектра зависит от температуры, при которой происходит откачка, и при высоких температурах казывается весьма незначительной.

Описанные опыты однозначно говорят о том, что в твердой пленке красителя в обычных условиях влажного воздуха содержатся ассоциаты молекул красителя с водой. Эти ассоциаты являются носителями поглощения в коротковолновых полосах, возникающих в спектрах пленок. Связь молекул красителей с водой в этих ассоциатах достаточно лабильна, о чем свидетельствует легкое их разрушение при откачке. С другой стороны, связи эти устанавливаются довольно легко. Отдельные опыты

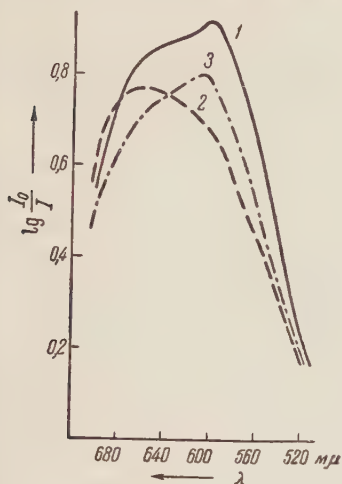


Рис. 3. Кривые поглощения пленки малахитового зеленого на стекле. 1 — на воздухе, 2 — в вакууме, 3 — после введения в вакуум паров воды

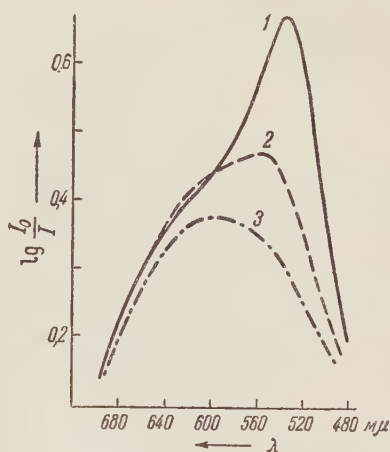


Рис. 4. Кривые поглощения пленки кристаллического фиолетового на стекле. 1 — до облучения, 2 — после 2-часового облучения на воздухе 1000-ваттной лампой, 3 — после 5-часового облучения

показали, что сообщение реакционного пространства с воздухом при обычной влажности приводит немедленно к регенерации спектра, характерного для пленок. Надо полагать, что мы имеем здесь дело с водородными связями, на что дают некоторое указание небольшие энергетические различия между соответствующими максимумами (4—5 ккал/моль). С другой стороны, связи в этих ассоциатах отличны от обычных гидратационных связей, о чем свидетельствует тот факт, что в спектре водных растворов соответствующие коротковолновые максимумы выражены очень слабо. Надо полагать, что возникновение ассоциатов связано с адсорбцией паров воды на твердой пленке красителя и происходит лишь в тех случаях, когда имеются в наличии соответствующие для этого условия. Существенные данные для понимания процессов фотовыцветания этих красителей были получены при облучении пленок видимым светом (1000-ваттной лампой). В воздушной атмосфере пленки обоих исследованных красителей чувствительны к свету и подвергаются обесцвечиванию. Чувствительность к свету и склонность к выцветанию сохраняются даже в том случае, когда реакционный объем подвергается глубокой откачке высоковакуумным насосом при одновременном прогреве реакционного объема до 80—90°. Тут безусловно играют роль те следы кислорода, которые остаются в объеме или адсорбированы на стекле даже в этих условиях глубокого вакуума. Об этом говорит тот факт, что при более тщательной очистке системы от кислорода и влаги удается все же



получить пленки, практически инертные к свету. Это достигалось путем многократно повторявшихся последовательных операций промывки всей системы тщательно очищенным и высушенным азотом и длительной gentle боковой откачки и тренировки системы при температуре 80—90°. Если хорошо откачанную систему ввести пары воды, то ее инертность к свету сохраняется. Наличие кислорода оказывается, таким образом, совершенно необходимым условием осуществления процесса фотовыцветания.

Анализ полученных данных выявляет, однако, и другие важные детали, относящиеся к этим процессам. Оказывается, что способностью фотохимическому окислению обладают как ассоциаты красителей с водой, так и не связанные с водой молекулы красителей (состояние, отвечающее кривым 2 на рис. 2 и 3). Однако картина протекания этих процессов легко наблюдаемая в спектрах, свидетельствует о том, что ведущую роль в этих процессах играют ассоциаты. На рис. 4 показаны результаты облучения нефилтрованным видимым светом пленок кристаллического фиолетового в воздушной атмосфере\*. Рисунок показывает, что действие квантов света направлено в первую очередь на окисление ассоциатов красителя с водой, что сказывается на полном исчезновении максимума у 540 мμ. Только после того как в результате облучения достигается состояние, отвечающее кривым 2 на рис. 3 и 4, т. е. когда ассоциатов в системе нет вовсе, в игру вступают молекулы красителя, не связанные с водой. Надо полагать, что в воздушной (влажной) атмосфере такое состояние практически никогда не наступает, так как условия для образования новых ассоциатов обеспечены. Это тем более должно быть верным по отношению к фотохимическому выцветанию красителей в тканях, в парах которых образование чувствительных к процессам фотокисления адсорбционных соединений красителей с водой должно осуществляться особенно легко.

Вопрос о причинах преимущественного воздействия кислорода на ассоциаты «краситель — вода» требует специального исследования. Как было отмечено выше, эти ассоциаты в отсутствие кислорода не подвергаются реальным фотохимическим изменениям. Эти изменения отмечаются только тогда, когда в системе появляется кислород. Следовательно, однако, полагать, что поглощение света ассоциатами уже сразу вызывает в них такие изменения, которые в дальнейшем облегчают перенос электронов от них к кислороду. Это следует, в частности, из данных А. Т. Вартаняна<sup>(1)</sup>, показавшего, что пары воды подавляют фотопроводимость твердых пленок красителей в результате захвата электронов

Институт физической химии  
им. Л. В. Писаржевского  
Академии наук СССР

Поступило  
2 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Т. Вартанян, ЖТФ, **20**, 847 (1950); ЖФХ, **27**, 272 (1953).

\* Точно такие же результаты получены с малахитовым зеленым.



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Я. З. КАЗАВЧИНСКИЙ

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ВИРИАЛЬНОЙ  
ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕАЛЬНОГО ГАЗА

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 27 I 1954)

Анализ структуры термодинамической поверхности реального газа, проведенный на основании опытных значений  $p, v, T$  для многих реальных газов, дает возможность обобщить результаты некоторых исследований<sup>(1-3)</sup>, проведенных в данном направлении, которые сводятся к следующему:

1. Термодинамическая поверхность реального газа по своим изохорным сечениям близка к линейчатой поверхности, превращаясь в нее при больших приведенных температурах порядка  $\tau > 3$ .

2. Кривизна изохорных сечений при умеренных и низких приведенных температурах меняет знак при переходе от объемов больше критического объема  $v_k$  к объемам меньшим критического, практически обращаясь в нуль на критической изохоре. В связи с этим уравнение термодинамической поверхности в безразмерных координатах  $p v / RT_k, \tau = T / T_k, \varphi = v / v_k$  в общем виде может быть записано следующим образом:

$$\frac{p v}{RT_k} = k \pi \varphi = \alpha_1 \tau + \alpha_0 + \theta, \quad (1)$$

где  $k = p_k v_k / RT_k$ ;  $\pi = p / p_k$ ;  $\alpha_1$  и  $\alpha_0$  — функции приведенного объема  $\varphi$ ;  $\theta$  — функция  $\tau$  и  $\varphi$ , характеризующая искривление изохорных сечений и обращающаяся в нуль при  $\tau \rightarrow \infty$  при всех значениях  $\varphi$ , а также при  $\varphi = 1$  при всех значениях  $\tau$ . С другой стороны, если рассматривать уравнение (1) как практическое приближение к уравнению состояния реального газа Боголюбова — Мейера<sup>(4,5)</sup>, то правая часть уравнения (1) должна выражаться полиномом от  $1/\varphi$ , коэффициенты которого представляют собой функции от температуры, иными словами, правая часть уравнения (1) из вышеуказанных соображений должна быть представлена в общеизвестной вириальной форме.

Исследования показали, что наилучшее удовлетворение опытным данным в широком диапазоне изменения параметров получается, если взять вириальную форму уравнения по Каммерлинг-Оннесу<sup>(6)</sup>, где в полиноме от  $1/\varphi$ , содержащем 5 членов, опущены нечетные степени  $1/\varphi$  за исключением первой. Отсюда следует, что функции  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$ , а также функции приведенного объема  $\varphi$ , скрытые в криволинейной части уравнения  $\theta$ , должны выражаться полиномами от  $1/\varphi$ , содержащими не больше 5 членов в указанных выше степенях.

Чтобы получить в явном виде уравнение (1) и дать способ определения его постоянных, расчленим действительную термодинамическую поверхность на линейчатую поверхность, которую будем

называть предельно-критической, и на ее дополнение, которое назовем  $\Delta$ -поверхностью, в результате чего можно написать:

$$\frac{pv}{RT_k} = \left( \frac{pv}{RT_k} \right)_l + \Delta. \quad (1)$$

Предельно-критическая поверхность представляет собой линейчатую поверхность, имеющую такую же линейную часть, как и действительная поверхность, и общую с ней критическую изотерму; отсюда следует, что уравнение этой поверхности может быть записано в виде

$$\left( \frac{pv}{RT_k} \right)_l = \alpha_1(\tau - 1) + \left[ 1 + \frac{a_1}{\varphi} + \frac{a_2}{\varphi^2} + \frac{a_4}{\varphi^4} + \frac{a_6}{\varphi^6} + \frac{a_8}{\varphi^8} \right], \quad (2)$$

где выражение в квадратных скобках представляет собой правую часть уравнения критической изотермы в координатах  $pv/RT_k$ . Используя критические условия и точку Бойля на критической изотерме, получаем для определения 5 постоянных  $a_i$  критической изотермы следующую систему из 5 уравнений:

$$\text{I. } \pi = F(\varphi)_{\tau=1} = 1. \quad \text{II. } \left( \frac{\partial \pi}{\partial \varphi} \right)_{\tau=1} = 0. \quad \text{III. } \left( \frac{\partial^2 \pi}{\partial \varphi^2} \right)_{\tau=1} = 0 \quad \text{при } \varphi = 1.$$

$$\text{IV. } \left[ \frac{\partial(\pi\varphi)}{\partial \varphi} \right]_{\tau=1} = 0. \quad \text{V. } \pi = F(\varphi)_{\tau=1} = \pi_B \quad \text{при } \varphi = \varphi_B.$$

Здесь  $\varphi_B$  и  $\pi_B$  — значения  $\varphi$  и  $\pi$  в точке Бойля на критической изотерме; при этом для различных газов оказалось:  $\varphi_B = 0,62 \div 0,68$ ,  $\pi_B = 1,02 \div 1,06$ .

Менее точные результаты, в особенности для области  $\varphi < 1$ , получаются, если вместо уравнений IV и V использовать уравнения

$$\text{IV}'. \left( \frac{\partial^3 \pi}{\partial \varphi^3} \right)_{\tau=1} = 0. \quad \text{V}'. \left( \frac{\partial^4 \pi}{\partial \varphi^4} \right)_{\tau=1} = 0 \quad \text{при } \varphi = 1.$$

Коэффициент  $\alpha_1$  линейной части уравнения может быть вычислен при помощи теоремы о вириале, которая при учете двойных и тройных столкновений молекул по методу Больцмана (?) дает

$$\alpha_1 = 1 + \frac{b_0}{\varphi} + \frac{5}{8} \frac{b_0^2}{\varphi^2}. \quad (4)$$

Постоянную  $b_0$  в формуле (4) определяем, пользуясь тем, что критическая изохора — прямая линия, поэтому при  $\varphi = 1$  из уравнения (1) получим:

$$k \left( \frac{\partial \pi}{\partial \tau} \right)_{\varphi=1} = \alpha_{1k} = 1 + b_0 + \frac{5}{8} b_0^2.$$

Тангенс угла наклона критической изохоры  $(\partial \pi / \partial \tau)_{\varphi=1}$  определяется непосредственно путем построения ее по опытным значениям  $p, v, T$  в надкритической области либо на основании данных по кривой упругости вблизи критической точки, используя при этом соотношение Планка — Гиббса:

$$\left( \frac{\partial \pi}{\partial \tau} \right)_{\varphi=1} = \left( \frac{\partial \pi}{\partial \tau} \right)_k.$$

Отметим, что для различных газов  $\alpha_{1k}$  изменяется в узких пределах  $1,8 \div 2,0$ .

$\Delta$ -поверхность, частный случай которой представлен на рис. 1, обладает определенными свойствами, выражающимися в том, что все ее изотермические сечения при  $\tau > 1$  имеют максимум практической при одном и том же  $\varphi = \varphi_{\max}$ , минимум при одном и том же  $\varphi = \varphi_{\min}$ .

кроме того,  $|\Delta_{\min}/\Delta_{\max}| = \gamma = \text{const}$ , т. е. отношение минимального значения  $\Delta$  к максимальному значению на изотерме практически остается одним и тем же для всех изотерм. Это позволяет представить уравнение  $\Delta$ -поверхности в виде:

$$\Delta = \beta [\psi(\tau) - \psi(1)], \quad (5)$$

где  $\beta$  — функция только от  $\varphi$ ,  $\psi(\tau)$  — функция только от  $\tau$ .

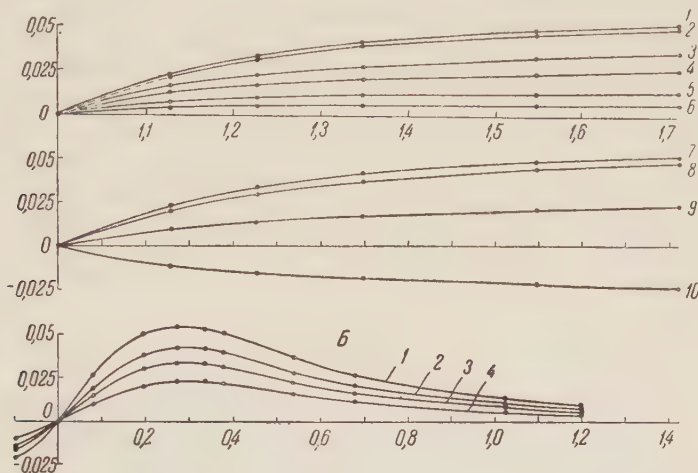


Рис. 1. А — изохоры  $\Delta - \tau$  для  $\text{CO}_2$ ; 1 —  $\varphi = 2,148$ ; 2 — 2,378; 3 — 3,438; 4 — 4,762; 5 — 10,574; 6 — 23,907; 7 — 1,869; 8 — 1,568; 9 — 1,200; 10 — 0,800. Б — изотермы  $\Delta - \lg \varphi$  для  $\text{CO}_2$ ; 1 —  $\tau = 1,713$ ; 2 — 1,378; 3 — 1,227; 4 — 1,128

Имея в виду ранее сказанное по поводу вида функций от объема в уравнении (1), можно записать:

$$\beta = \frac{1}{\varphi} + \frac{b_2}{\varphi^2} + \frac{b_4}{\varphi^4} + \frac{b_6}{\varphi^6} + \frac{b_8}{\varphi^8}. \quad (6)$$

Учитывая свойство изотермических сечений  $\Delta$ -поверхности и имея в виду, что они с точностью до постоянного множителя выражаются функцией  $\beta$ , будем иметь для определения четырех постоянных  $b_i$  функции  $\beta$  следующие четыре уравнения:

$$\begin{aligned} \text{I. } \frac{d\beta}{d\varphi} &= 0 \text{ при } \varphi = \varphi_{\max}, & \text{II. } \frac{d\beta}{d\varphi} &= 0 \text{ при } \varphi = \varphi_{\min}, \\ \text{III. } \beta &= 0 \text{ при } \varphi = 1, & \text{IV. } \beta_{\min} &= -\gamma\beta_{\max}. \end{aligned}$$

Исследованиями обнаружено, что для различных газов  $\varphi_{\max} = 1,6 \div 2,2$ ;  $\varphi_{\min} = 0,6 \div 0,8$ ;  $\gamma = 0,5 \div 1$ .

Изохорные сечения  $\Delta$ -поверхности показывают, что с достаточной для практики точностью функция  $\psi(\tau)$  может быть представлена в виде

$$\psi(\tau) = \frac{c}{\tau^n}, \quad (7)$$

где для многих газов  $n = 3$ ,  $c$  — постоянная величина, определяемая на основании опытных данных.

Суммируя правые части уравнений (3) и (5) и используя также выражения (4), (6) и (7), получим уравнение состояния в виде

$$\begin{aligned} \frac{pv}{RT_K} &= \left(1 + \frac{b_0}{\varphi} + \frac{5}{8} \frac{b_0^2}{\varphi^2}\right)(\tau - 1) + \left(1 + \frac{a_1}{\varphi} + \frac{a_2}{\varphi^2} + \frac{a_4}{\varphi^4} + \frac{a_6}{\varphi^6} + \frac{a_8}{\varphi^8}\right) + \\ &+ c \left(\frac{1}{\tau^n} - 1\right) \left(\frac{1}{\varphi} + \frac{b_2}{\varphi^2} + \frac{b_4}{\varphi^4} + \frac{b_6}{\varphi^6} + \frac{b_8}{\varphi^8}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Из изложенного ясно, что для определения всех 12 постоянных уравнения состояния (8) необходимо иметь критические данные, значения параметров точки Бойля на критической изотерме и надежные данные для  $p, v, T$  на нескольких изотермах в интервале  $\varphi = 0,6 \div 3$  при температурах, достаточно отличающихся от критической.

Исследования, проведенные для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , показали, что в широком интервале изменения параметра  $\varphi$  (включая частично и область жидкости при  $\varphi < 1$ ) уравнение (8) в подавляющем числе случаев дает погрешность по отношению к опытным  $p, v, T$ , не превосходящую 0,3%, и лишь в отдельных случаях погрешность доходит до  $0,6 \div 0,8\%$ . В табл. 1 для указанных газов приведены значения постоянных уравнения, вычисленных изложенными методами.

Таблица 1

Постоянные уравнения (8) и принятые значения критических параметров для ряда реальных газов

Постоянные	$\text{N}_2$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{CO}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{CH}_4$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{O}$
$b_0$	0,5774	0,6541	0,6367	0,6631	0,5770	0,6344	+0,63773
$a_1$	-1,0254	-1,2679	-1,2577	-1,2634	-1,0687	-1,4454	-1,49950
$a_2$	+0,1620	+0,5777	+0,5628	+0,5643	+0,2253	+0,7745	+0,88156
$a_4$	+0,3028	-0,0133	-0,0077	+0,0971	+0,2648	-0,0647	-0,15894
$a_6$	-0,1869	-0,0260	-0,0276	-0,0988	-0,1707	-0,0294	+0,02169
$a_8$	+0,0399	+0,0060	+0,0062	+0,0286	+0,0069	+0,0107	-0,00031
$b_2$	-1,3145	-1,1471	-1,1471	-1,1471	-0,8294	-1,1471	-1,15000
$b_4$	+1,2379	+0,0942	+0,0942	+0,0942	-0,4674	+0,0942	+0,10414
$b_6$	-1,3309	-0,0673	-0,0673	-0,0673	+0,3567	-0,0673	+0,05861
$b_8$	+0,4074	-0,0144	-0,0144	-0,0144	-0,0599	-0,0144	-0,01227
$c$	-0,180	-0,300	-0,350	-0,280	-0,165	-0,530	-0,7525
$n$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
$p_K/\text{кг/см}^2$	24,61	50,0	75,32	52,18	47,11	116,03	225,65
$T_K, ^\circ\text{K}$	126,0	305,44	304,26	283,06	191,0	406,06	647,31
$v_K''$ л/кг	3,225	4,711	2,154	4,268	6,173	4,282	3,3
$k=p_K v_K/RT_K$	0,2924	0,2755	0,277	0,2663	0,2876	0,2458	0,2445

Уравнение (8), которое легко привести к виду (1), а также представить в обычной вириальной форме, удовлетворяет всем без исключения общим требованиям, которые могут быть предъявлены к рациональному уравнению состояния реального газа, и обеспечивает необходимую точность вычисления калорических величин. Если уравнение (8) предназначено только для области  $\varphi = 3 \div \infty$ , то без ущерба для точности в нем можно опустить члены, содержащие  $1/\varphi$  в степенях выше 4-й, и тогда для определения оставшихся 8 постоянных достаточно иметь критические параметры и  $p, v, T$  на кривой насыщения.

Поступило  
24 VIII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, ВТИ, 1952, стр. 7.  
<sup>2</sup> S. Young, Proc. Phys. Soc. London, **13**, 602 (1895). <sup>3</sup> A. Michels, A. Bijl, C. Michels, Proc. Roy. Soc., **A**, **160**, 346 (1937). <sup>4</sup> Н. Н. Боголюбов, Проблемы динамической теории в статистической физике, 1946. <sup>5</sup> J. Mayer, J. Chem. Phys., **5**, 67 (1937). <sup>6</sup> Н. Kamerlingh-Onnes, Commun. Leiden, No. 71, 74 (1901). <sup>7</sup> М. И. Вукалович, И. И. Новиков, Уравнение состояния реальных газов, 1948, стр. 204—207.



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

З. К. МАЙЗУС и Н. М. ЭМАНУЭЛЬ

**МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СТАДИИ ПРИ КАТАЛИЗЕ ОКИСЛАМИ  
АЗОТА РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ПРОПАНА**

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 10 II 1954)

Каталитическое действие окислов азота в реакциях окисления углеводородов (метан, этан, этилен, пропан, бензол) известно давно <sup>(2-9)</sup>. Добавка небольших количеств окислов азота позволяет значительно снизить температуру проведения реакции, что способствует сохранению ценных кислородсодержащих продуктов окисления — перекисей, альдегидов, кетонов, спиртов.

Меняются при катализе также кинетические закономерности процесса <sup>(10)</sup>. Поскольку даже катализированное окисление простейших углеводородных газов идет при довольно высоких температурах, естественно, что NO и NO<sub>2</sub> могут проявлять при этом свою радикальную природу, связанную с наличием в этих молекулах нечетного числа электронов.



Следовательно, добавка окислов азота к смеси углеводорода с кислородом эквивалентна созданию в исходной смеси высокой концентрации активных центров, способных инициировать цепной процесс окисления. Именно с этим обстоятельством и связано, повидимому, отмеченное нами изменение формы кинетических кривых. Элементарный акт инициирования может заключаться в создании углеводородных радикалов, например по реакции.



Эта элементарная реакция обычно фигурирует в химических механизмах процессов нитрования углеводородов <sup>(12)</sup>. Образовавшийся радикал R дает начало цепям окисления углеводорода.

Однако в наших последних работах по гомогенному катализу бромистым водородом в реакции окисления пропана было установлено существование нового механизма катализа <sup>(13)</sup>. Оказалось, что развитие цепной катализированной реакции нельзя представлять себе как простое осуществление одной и той же последовательности элементарных актов (зарождение, продолжение, разветвление и обрыв цепи) на протяжении всего процесса, пока в реагирующей системе есть исходные вещества.

Было показано наличие в механизме процесса двух отчетливо выраженных последовательных макроскопических стадий. Первая из этих стадий — начальная инициирующая реакция (по своему механизму, повидимому, цепная разветвленная реакция) — быстро затормаживается, но приводит к образованию высокоэффективного промежуточного продукта. Этот промежуточный продукт во второй стадии процесса медлен-

но распадается, индуцируя каждым актом своего распада обычную, но неразветвленную цепь реакций окисления углеводорода.

Масштаб начальной инициирующей реакции определяет масштаб (глубину) окисления углеводорода. Эффект катализа определяется в основном участием катализатора в начальной инициирующей стадии. Для последующей макроскопической стадии катализатор или не нужен вовсе или его нужно мало. Точно так же добавка ингибитора (ацетон) действует лишь на начальную инициирующую реакцию.

Недавно один из нас высказал точку зрения, что наличие макроскопических стадий и особая роль начального периода являются общим или, по крайней мере, весьма распространенным свойством цепных реакций как катализированных, так и некатализированных <sup>(14)</sup>.

Весьма удачной оказалась попытка использовать для обнаружения двух макроскопических стадий метод изучения разогрева реагирующей смеси по А. А. Ковальскому <sup>(15)</sup>.

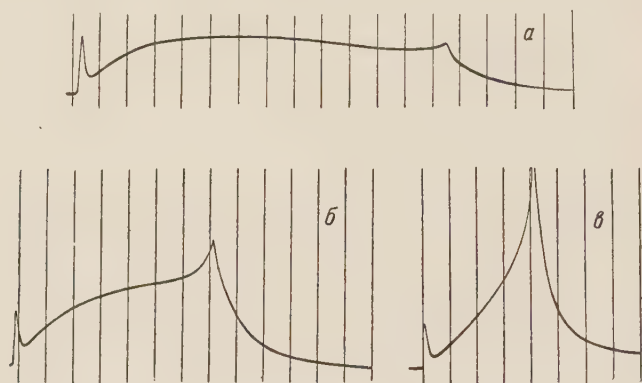


Рис. 1. Фоторегистрации разогрева реагирующей смеси, указывающие на существование двух режимов тепловыделения (двух макроскопических стадий в механизме катализа окислами азота реакции окисления пропана). *а* — 319°; *б* — 324°; *в* — 333°. Максимальный разогрев на фоторегистрации *в* равен 5,7°. Отметки времени (вертикальные прямые) даются через каждые 30 сек.

В подходящих условиях можно зарегистрировать наличие двух режимов тепловыделения, соответствующих наличию двух макроскопических стадий в механизме процесса <sup>(16)</sup>. Естественно, что в тех случаях, когда реакция идет быстро (высокие температуры), кривые разогрева могут и не показать стадийности процесса. При этом получается суммарная для обеих стадий кривая скорости тепловыделения.

При понижении температуры можно надеяться на более успешную регистрацию двух стадий в силу разной зависимости скоростей этих стадий от температуры. Допуская, что катализатор стимулирует в первую очередь начальную инициирующую реакцию, можно думать, что добавка катализатора при низкой температуре особенно благоприятна для регистрации двух режимов тепловыделения.

Действительно, такого рода явления нам с большой отчетливостью удалось зарегистрировать при катализе добавками окислов азота реакции окисления пропана (состав исходной смеси: 150 мм рт. ст.  $C_3H_8 + 150$  мм  $O_2 + 20$  мм  $NO_2$ ).

На рис. 1 *а* хорошо видно, как после острого пика в начале фоторегистрации, обусловленного релаксационными явлениями, регистрируется протекание в реагирующей системе сравнительно медленной, автокаталитического характера реакции, связанной с выделением тепла. Скорость этой реакции достигает максимума и начинает спадать. Одна-

ко к этому моменту времени уже сказывается тепловыделение, связанное с развитием второй макроскопической стадии. На фоторегистрации наблюдается второй максимум скорости выделения тепла. После этого скорость реакции окисления убывает до конца реакции.

При повышении температуры (рис. 1 б) скорости обеих макроскопических стадий возрастают. Попрежнему регистрируется два режима тепловыделения. Однако максимум разогрева, соответствующий начальной стадии, уже не выявляется. Наконец, при дальнейшем повышении температуры (рис. 1 в) кривая тепловыделения, если ее рассматривать без сопоставления с рис. 1 а и 1 б, вообще не дает указаний на существование двух режимов тепловыделения. Именно такого результата и следовало ожидать.

Таким образом, в механизме гомогенного катализа окислами азота в цепных реакциях окисления углеводородов (пропан) имеют место две последовательных макроскопических стадии.

Поступило  
6 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Н. Bibb, H. L. Lucas, Ind. Eng. Chem., **21**, 633 (1929). <sup>2</sup> T. E. Layng, R. Soukup, *ibid.*, **20**, 1052 (1928). <sup>3</sup> С. Н. Bibb, *ibid.*, **21**, 11 (1932). <sup>4</sup> С. Н. Bibb, Canad. Patent, 302672, 1930. <sup>5</sup> M. Patry, P. Monseaux, C. R., **23**, 329 (1946). <sup>6</sup> В. Г. Фастовский, Метан, М.—Л., 1947. <sup>7</sup> Н. М. Путов, Курн. хим. пром., 332 (1949). <sup>8</sup> W. A. Bone, S. G. Hill, Proc. Roy. Soc., A **129**, 34 (1930). <sup>9</sup> W. A. Bone, S. Hill, H. R. Rance, *ibid.*, A **143**, 16 (1933). <sup>10</sup> З. К. Майзус, Н. М. Эмануэль, ДАН, **83**, 717 (1952). <sup>11</sup> Н. Н. Семенов, Цепные реакции, М.—Л., 1934. <sup>12</sup> А. В. Топчиев, Нитрование углеводородов, Изд. АН СССР, 1949. <sup>13</sup> З. К. Майзус, Н. М. Эмануэль, ДАН, **87**, 241 (1952). <sup>14</sup> З. К. Майзус, Н. М. Эмануэль, ДАН, **87**, 801 (1952). <sup>15</sup> Н. М. Эмануэль, ДАН, **95**, № 3 (1954). <sup>16</sup> М. Л. Богоявленская, А. А. Ковальский, ЖФХ, **20**, 1325 (1946). <sup>17</sup> З. К. Майзус, А. М. Маркевич, Н. М. Эмануэль, ДАН, **89**, 1049 (1952).





Н. В. НИКОЛАЕВА и А. А. ГРОСМАН

## ЭЛЕКТРОВОССТАНОВЛЕНИЕ АНИОНА $S_2O_8^{--}$ НА ПЛАТИНОВОМ ЭЛЕКТРОДЕ

(Представлено академиком А. Н. Фуркинским 30 I 1954)

В опубликованных за последнее время работах по исследованию электровосстановления анионов было показано, что скорость катодного восстановления анионов определяется замедленностью самого акта разряда <sup>(1)</sup>. На основе теории замедленного разряда можно объяснить многие особенности процесса восстановления анионов, в том числе и наблюдаемый в разбавленных растворах на кривых зависимости тока от потенциала резкий спад тока вблизи точки нулевого заряда электрода. Зависимость начала спада тока на поляризационной кривой от положения нулевой точки была ранее обнаружена при восстановлении  $S_2O_8^{--}$  и  $[Fe(CN)_6]^{--}$  на кадмиевом и  $S_2O_8^{--}$  на свинцовом вращающихся электродах <sup>(2)</sup>. Представлялось интересным проверить существование той же зависимости при восстановлении  $S_2O_8^{--}$  на платиновом электроде.

Исследование велось на гладком платиновом вращающемся электроде в атмосфере азота. Все потенциалы в работе даны по отношению к нормальному каломельному электроду.

На рис. 1 приведена катодная поляризационная кривая, снятая на платиновом электроде в растворе  $10^{-3} N$   $K_2S_2O_8$  (рис. 1, 4). Как видно из рисунка, восстановление персульфат-иона на платине начинается при потенциале 0,4 в; при увеличении поляризации ток достигает значений тока диффузии, который пропорционален концентрации  $S_2O_8^{--}$  в растворе. При дальнейшем увеличении катодной поляризации ток при потенциале, который лежит несколько отрицательнее точки нулевого заряда платины ( $-0,17$  в), резко падает до очень низкого значения и начинает вновь расти лишь при сильно отрицательных потенциалах. Если в раствор прибавить индифферентный электролит, то происходит заметное уменьшение спада тока (рис. 1, 3, 2), а при концентрации  $Na_2SO_4$ , равной  $0,1 N$ , спад тока совсем исчезает и кривая восстановления  $S_2O_8^{--}$  принимает нормальный вид (рис. 1, 1). Наблюдаемый спад тока может быть объяснен, если учесть, что отрицательный заряд поверхности электрода создаст препятствие для реакции, в которой участвует отрицательно заряженный анион.

Эффективность добавляемого электролита зависит от валентности катиона (см. рис. 2). Чем выше валентность катиона, тем при меньших его концентрациях исчезает минимум тока. Так, минимум на поляризационных кривых восстановления  $S_2O_8^{--}$  на платиновом электроде исчезает при концентрации  $Na^+$ , равной  $0,1 N$ , и  $Th^{+++}$ , равной  $10^{-4} N$ . Однако влияние валентности не столь сильно выражено, как в случае ртути. В противоположность ускоряющему действию катионов на процесс восстановления  $S_2O_8^{--}$ , присутствие анионов вызывает резкое торможение реакции.

Как известно, анионы адсорбируются на положительно заряженной и слабо отрицательно заряженной поверхности. При положительном за-

ряде поверхности скорость реакции восстановления  $S_2O_8^{''}$  падает в зависимости от природы индифферентного аниона в ряду:  $SO_4^{''} > Cl' > Br'$  (см. рис. 3).

Если сравнить потенциалы, при которых величина тока достигает значений  $0,7i_d$  ( $i_d$  — предельный ток диффузии), то получим для 0,01 M растворов  $Na_2SO_4$  0,1 в, KCl 0,28 в, KBr 0,43 в, т. е. при переходе от 0,01 N  $Na_2SO_4$  к 0,01 N KBr потенциал сдвигается на 0,33 в в отрицательную сторону. При отрицательном заряде поверхности электрода так-

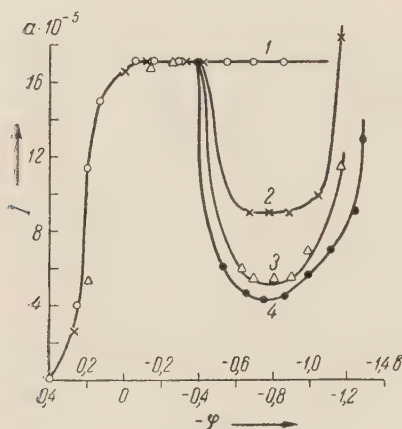


Рис. 1. Поляризационные кривые на платиновом электроде. 1 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8 + 10^{-1} N Na_2SO_4$ ; 2 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8 + 10^{-2} N Na_2SO_4$ ; 3 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8 + 10^{-3} N Na_2SO_4$ ; 4 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8$

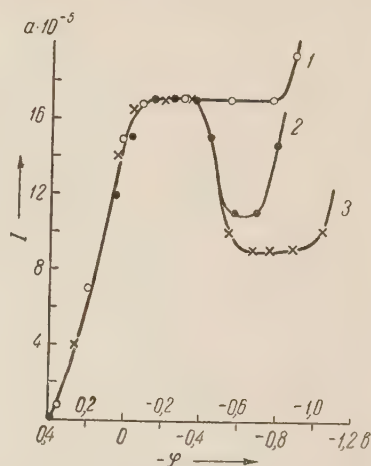


Рис. 2. Поляризационные кривые на платиновом электроде. 1 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8 + 10^{-4} N Th(NO_3)_4$ ; 2 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8 + 10^{-3} N La_2(SO_4)_3$ ; 3 — в растворе  $10^{-3} N K_2S_2O_8 + 10^{-2} N Na_2SO_4$

же наблюдается зависимость скорости реакции от природы аниона. Однако зависимость эта выражена более слабо и анионы располагаются в другой последовательности по сравнению с той, которая наблюдается в области положительных зарядов: сила тока растет в ряду  $SO_4^{''} < Cl' < Br'$ . Аналогичное обращение последовательности действия анионов при переходе к отрицательным зарядам наблюдается и в случае восстановления  $S_2O_8^{''}$  на ртути.

В литературе до настоящего времени утвердилось мнение, что любые процессы электровосстановления на платине так или иначе связаны с атомарным водородом, адсорбированным на поверхности платины. Однако полученные нами данные по спаду тока на поляризационных кривых восстановления  $S_2O_8^{''}$  и зависимость этого явления от концентрации и природы постороннего электролита подобны явлениям, наблюдаемым при восстановлении  $S_2O_8^{''}$  на кадмиевом и свинцовом электродах и могут быть объяснены только в предположении, что разряд  $S_2O_8^{''}$  на платине является медленной реакцией, скорость которой зависит от распределения потенциала в двойном слое на границе металл — раствор. Нами показано, что восстановление  $S_2O_8^{''}$  на платине происходит без участия ионов водорода.

На рис. 4 приведены поляризационные кривые восстановления  $S_2O_8^{''}$  в кислых, нейтральных и щелочных растворах (изменение значений pH осуществлялось добавлением  $H_2SO_4$  и  $NaOH$ ). Как видно, переход от кислых растворов к нейтральным не приводит к заметному сдвигу первого участка кривой. Сдвиг же, наблюдаемый при переходе от нейтральных к щелочным растворам, объясняется известным из литературы изменением состояния поверхности платины в щелочных растворах (3).

Если бы ион водорода участвовал в реакции восстановления  $S_2O_8^{2-}$ , то это должно было сказаться на третьем участке нисходящей ветви кривой: при переходе от растворов с pH 3 к растворам с pH 11 должен наблюдаться сдвиг потенциала  $\sim 0,5$  в. В действительности наблюдаемый сдвиг потенциала составляет всего 0,05—0,1 в. Ход кривой на четвертом участке определяется процессом выделения водорода на платине и, естественно, сильно зависит от pH раствора. Потенциалы, при которых происходит подъем кривых, совпадают с известными из литературных данных потенциалами выделения водорода на платиновом электроде.

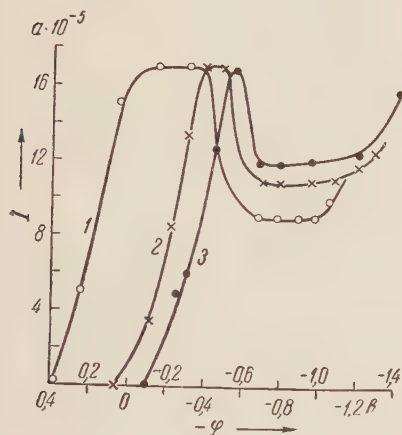


Рис. 3. Поляризационные кривые на платиновом электроде. 1 — в растворе  $10^{-3} NK_2S_2O_8 + 10^{-2} NNa_2SO_4$ ; 2 — в растворе  $10^{-3} NK_2S_2O_8 + 10^{-2} NKCl$ ; 3 — в растворе  $10^{-3} NK_2S_2O_8 + 10^{-2} NKBr$

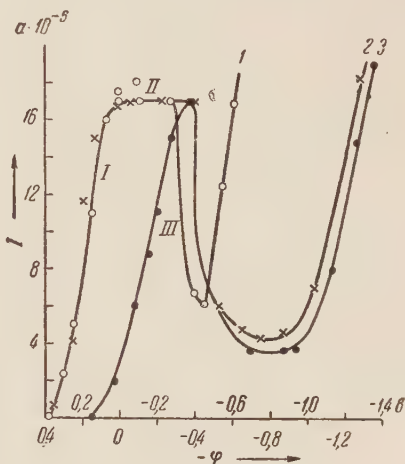


Рис. 4. Поляризационные кривые на платиновом электроде, снятые в растворе  $10^{-3} NK_2S_2O_8$  с различными значениями pH: 1 — pH 3, 2 — pH 7, 3 — pH 11

Начало спада на поляризационных кривых восстановления на платиновом электроде происходит при потенциалах на 0,1—0,2 в отрицательнее, чем точка нулевого заряда платины, найденная из данных адсорбционных измерений. Вопрос о положении точки начала спада поляризационной кривой по отношению к точке нулевого заряда был разобран в работе Т. В. Калиш и А. Н. Фрумкина<sup>(4)</sup>.

Наблюдаемый нами минимум тока на  $I-\phi$  кривых восстановления  $S_2O_8^{2-}$  на платине может полностью исчезать при определенных условиях обработки поверхности платинового электрода, что дает возможность судить о состоянии поверхности платины по изменению хода поляризационных кривых в разбавленных растворах. Однако эти данные носят предварительный характер и требуют дальнейшего исследования.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность акад. А. Н. Фрумкину за постоянное руководство и исключительное внимание к работе.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
30 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Т. А. Крюкова, ДАН, **65**, 517 (1949); А. Н. Фрумкин, Г. М. Флорианович, ДАН, **80**, 907 (1950); Г. М. Флорианович, Электровосстановление анионов на ртутном катоде, Диссертация, МГУ, 1951; А. И. Левин, Е. А. Укше, Н. С. Брылина, ДАН, **88**, 697 (1953); Н. В. Николаева, В. Н. Преснякова,

ДАН, **87**, 61 (1952). <sup>2</sup> Н. В. Николаева, Н. С. Шапиро, А. Н. Фрумкин  
ДАН, **86**, 581 (1952). <sup>3</sup> А. Н. Фрумкин, А. И. Шлыгин, Изв. АН СССР, сер.  
хим., 773 (1936) <sup>4</sup> Т. В. Калиш, А. Н. Фрумкин, ЖФХ, **28**, № 3 (1954).



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С. М. СКУРАТОВ, В. В. ВОЕВОДСКИЙ, А. А. СТРЕПИХЕЕВ, Е. Н. КАНАРСКАЯ  
и Р. С. МУРОМОВА

**КАТАЛИЗ РЕАКЦИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ  $\epsilon$ -КАПРОЛАКТАМА  
ОСНОВАНИЯМИ**

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 30 XII 1953)

В настоящем сообщении излагаются результаты исследования влияния сильных и слабых оснований (бутиламин и NaOH) на скорость реакции полимеризации  $\epsilon$ -капролактама. Методика проведения работы изложена ранее (1).

Образцы. Капролактама очищался двукратной перегонкой при пониженном давлении и высушивался до постоянного веса. Вода, бутиламин и NaOH также предварительно очищались.

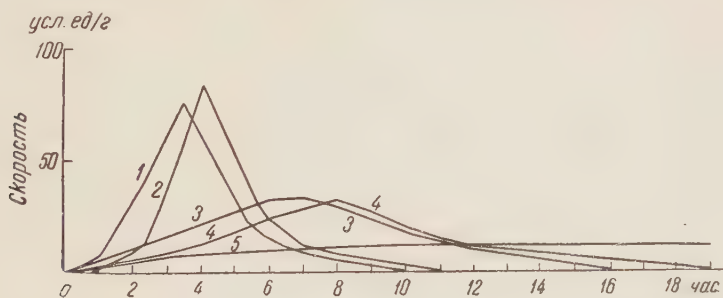


Рис. 1. Кинетика полимеризации  $\epsilon$ -капролактама с содержанием 1,0 вес. % воды и различного количества  $n$ -первичного бутиламина: 1 — 1,32 вес. % (231,5°); 2 — 0% (231,5°); 3 — 2,74 вес. % (210,0°); 4 — 1,32 вес. % (210,0°); 5 — 3,95 вес. % без воды

Результаты измерений. На рис. 1 в координатах скорость — время даны кинетические кривые полимеризации  $\epsilon$ -капролактама с добавлением 1,0 вес. % воды и различного количества бутиламина. На рис. 2 даны аналогичные кривые полимеризации  $\epsilon$ -капролактама с 1,0 вес. % воды и различным количеством NaOH. На рис. 1 для сравнения приведена кривая полимеризация  $\epsilon$ -капролактама с 1,0 вес. % воды (кривая 2).

В табл. 1 приведены числовые данные.

Рассмотрение опытных данных приводит к следующим выводам.

1) В отсутствие воды при добавлении основания (рис. 1, 5) реакция протекает крайне медленно.

2) При одновременном добавлении оснований и воды период индукции реакции резко уменьшается.

3) Максимальная скорость полимеризации в присутствии оснований изменяется по величине незначительно, но достигается за более

короткий промежуток времени и соответствует большей глубине превращения (45—50% вместо 42% при полимеризации  $\epsilon$ -капролактама в присутствии воды).

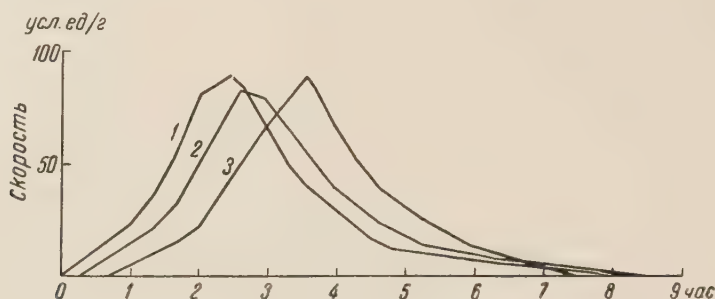


Рис. 2. Кинетика полимеризации  $\epsilon$ -капролактама с 1,0 вес.% воды и различным количеством NaOH: 1—0,63 вес.%; 2—0,32 вес.% 3—0,10 вес.%.  $T = 231,5^\circ$

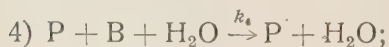
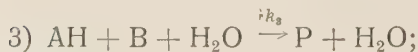
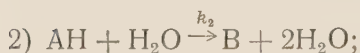
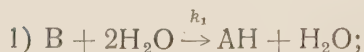
Так как в отсутствие воды основания не катализируют реакции (рис. 1, 5), естественно предположить, что катализ в данном случае обусловлен действием гидроксил-иона, образующегося в результате диссоциации основания по уравнению



где  $A$  — молекула, а  $\overset{+}{AH}$  — катион основания.

Кроме того, основываясь на том, что в присутствии основания максимальная скорость и общая продолжительность реакции изменяются лишь незначительно, можно предположить, что ион гидроксид-катализирует не процесс гидролиза лактама, а процессы зарождения и роста цепи.

Поэтому принятую нами ранее схему реакции полимеризации  $\epsilon$ -капролактама (2) можно для случая одновременного присутствия воды и основания записать в следующем виде \*:



\* Принятые в схеме обозначения:  $B$  — молекула капролактама,  $\overset{+}{AH}$  — молекула  $\omega$ -аминокапроновой кислоты,  $P$  — молекула полимера при любом числе звеньев больше, чем 2.

\*\* Элементарным процессом 8 в принятой схеме обозначается катализ реакции ионом  $H_3O^+$  (см. (2)) при наличии в реакционной среде кислоты и воды.

Таблица 1

Вода, вес. %	NaOH, вес. %	Бутил-амин вес. %	Т-ра опыта в °С	Индукт. период в мин.	Время дости- жения макс. скорости	Макс. ско- рость, усл. ед./г*	% поли- мериза- ции в макс. момент	Продолжит. реакции
0	—	3,95	231,5	0	11 ч. 20 м.	11	Наблюдение велось 21 ч. Реакция не закончена	
0,98	—	1,32	231,5	0	3 30	75	44,8	10 ч.
0,98	—	1,32	210,0	0	7 55	31	45,7	19
1,04	—	2,74	210,0	0	6 35	33	47,5	16
0,99	0,10	—	231,5	30	3 35	84	49,5	7 ч. 30 м.
0,99	0,32	—	231,5	8	2 56	98	47,0	8 30
1,03	0,63	—	231,5	0	2 36	91	48,1	8 ч.
0,98	0,60	—	240,0	12	1 50	121	49,0	7 ч. 20 м.
0,98	0,60	—	220,1	40	4 16	59	50,6	9 40

\* 1 усл. единица равна скорости  $1,13 \cdot 10^{-8}$  моль/сек.

Первые 7 процессов этой схемы обсуждены ранее (3). Процессы 9 и 10 учитывают катализ ионом  $\text{OH}^-$  процессов зарождения (3) и роста цепи полимера (4).

Проводя кинетический анализ этой схемы и учитывая ранее сделанные допущения (3), получим для  $-\frac{d(B)}{dt}$ ,  $\frac{d(P)}{dt}$  и (АН) следующие выражения:

$$(\text{АН}) = \frac{k_7(P)(B)}{k_2 + k_9 \frac{1}{(\text{H}_2\text{O})} (\text{OH}^-)(B)} \quad \text{или} \quad (\text{АН}) = \frac{k_7(P)(B)}{k_2[1 + \mu(B)]},$$

$$\text{где } \mu = \frac{k_9}{k_2} \frac{1}{(\text{H}_2\text{O})} (\text{OH}^-);$$

$$\frac{d(P)}{dt} = k_3(B)(\text{АН})(\text{H}_2\text{O}) \left[ 1 + \mu \frac{k_2}{k_3} \right]; \quad (1)$$

$$-\frac{d(B)}{dt} = k_4(P)(B)(\text{H}_2\text{O}) \left[ 1 + \frac{k_{10}}{k_4(\text{H}_2\text{O})} (\text{OH}^-) \right]; \quad (2)$$

откуда

$$-\frac{d(P)}{d(B)} = \frac{k_3 k_7(B)}{k_2 k_4 \left[ 1 + \frac{k_{10}(\text{OH}^-)}{k_4(\text{H}_2\text{O})} \right]} \frac{1 + \mu \frac{k_2}{k_3}}{1 + \mu(B)}. \quad (3)$$

Если катализ основанием сильный, т. е.  $\mu$  велико, то в биномах уравнения (3) можно пренебречь единицей и считать

$$\mu \frac{k_2}{k_3} \gg 1, \quad \mu(B) \gg 1.$$

Тогда получаем следующее уравнение для скорости реакции по глубине превращения:

$$w = -\frac{d(B)}{dt} = k_7(\text{H}_2\text{O})(B) [(B_0) - (B)]. \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что максимальная скорость реакции в присутствии сильных оснований должна наблюдаться при 50% превращения лактама. Этот вывод хорошо согласуется с опытными данными по кинетике полимеризации  $\epsilon$ -капролактама в присутствии гидроокиси натрия (см. табл. 1).

В другом предельном случае, при очень малых значениях  $\mu$ , т. е. при очень слабом катализе или при его отсутствии, можно положить

$$\mu \frac{k_2}{k_3} \ll 1, \mu(B) \ll 1.$$

Тогда максимальная скорость должна наблюдаться при 42% превращения лактама.

Таким образом при одновременном наличии в реакционной среде воды и оснований максимальная скорость реакции полимеризации  $\epsilon$ -капролактама должна наблюдаться при проценте превращения, лежащем в пределах от 42 до 50. Это соответствует всей совокупности опытных данных (см. табл. 1).

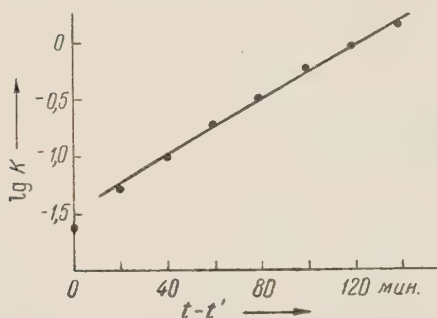


Рис. 3.  $\epsilon$ -капролактама + 1,0 вес. % воды + 0,63 вес. % NaOH.  $T = 231,5^\circ$  ( $a = 0,98$  и  $t' = 40$  мин.). При  $t - t' = 140$  мин.  $x = 62\%$

Проинтегрировав уравнение (4) в пределах от  $(B_1)$  до  $(B)$  и от  $t'$  до  $t$ , где  $(B_1) = a(B_0)$ , причем  $a$  близко к единице, а  $t'$  — время, когда  $(B) = (B_1)$ , получаем уравнение из которого следует, что данные каждого опыта, будучи отложены в координатах  $\lg K = \lg \frac{(B)}{(B_0) - (B)}$  ( $t - t'$ ), должны ложиться на прямую линию. Опытные данные подтверждают справедливость этого вывода (см. рис. 3).

Это дает возможность заключить, что принятая схема удовлетворительно описывает каталитическое действие оснований на процесс полимеризации  $\epsilon$ -капролактама.

Исследование температурной зависимости кинетики реакции полимеризации  $\epsilon$ -капролактама в присутствии 1,0 вес. % воды и 0,6 вес. % гидроокиси натрия показало, что скорость реакции изменяется с температурой в соответствии с законом Аррениуса. Эффективная энергия активации найдена равной 17 800 кал/моль.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова  
Всесоюзный научно-исследовательский  
институт искусственного волокна  
Институт химической физики  
Академии наук СССР

Поступило  
21 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. М. Скуратов, А. А. Стрепихеев, Е. Н. Канарская, Колл. журн., 14, в. 3, 185 (1952). <sup>2</sup> С. М. Скуратов, В. В. Воеводский и др., ДАН, 95, № 4 (1954). <sup>3</sup> С. М. Скуратов, В. В. Воеводский и др., ДАН, 95, № 4 (1954).



Г. АЧ и Ф. Б. ШТРАУБ

## ОБ ОБМЕНЕ ВЕЩЕСТВ АСЦИТИЧЕСКИХ РАКОВЫХ КЛЕТОК

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 3 III 1954)

Характерным для обмена веществ асцитических раковых клеток является то, что в аэробных условиях глюкоза тормозит дыхание, т. е. наблюдается обратный пастеровский эффект <sup>(1)</sup>. Это явление было в дальнейшем еще исследовано некоторыми авторами, однако объяснить его механизм не удалось. В наших опытах мы исходили из того, что обратный пастеровский эффект и обычный пастеровский эффект являются двумя крайними типами обмена веществ, основанными на одном и том же механизме.

Белые мыши заражались внутрибрюшинно эрлиховским штаммом раковой опухоли, вызывающей асцит. Дыхание измерялось в атмосфере кислорода, а гликолиз в присутствии 95% N<sub>2</sub> и 5% CO<sub>2</sub> по способу Варбурга, в растворе Кребс — Генселейта; 3 мл экспериментальной смеси содержали 0,4—0,5 мл клеток.

### Результаты

1. Развитие тормозящего действия глюкозы во время размножения асцитических раковых клеток. Больше всего раковых клеток можно получить из брюшной полости мышей через 10—12 дней после прививки. Однако небольшое количество клеток можно получить уже на 6-й день с помощью промывания брюшной полости. На рис. 1 показано изменение интенсивности эндогенного дыхания, дыхания в присутствии глюкозы и аэробного гликолиза в зависимости от времени, прошедшего с момента прививки. Как видно из рисунка, степень аэробного гликолиза вначале невысокая, постепенно повышается и начиная с 9-го дня держится на постоянном высоком уровне. Подобные же изменения наблюдаются в отношении эндогенного дыхания. На 6-й и 7-й день глюкоза не тормозит дыхание; тормозящее действие его разворачивается только тогда, когда становится заметным возрастание аэробного гликолиза.

Ввиду очень энергичного аэробного гликолиза, для измерения данного явления требуется присутствие достаточно большого количества глюкозы и быстрое проведение опыта. Это объясняется тем, что после израсходования глюкозы дыхание освобождается от тормозящего влияния и в присутствии возникающего большого количества молочной кислоты становится сильнее, чем в контрольном опыте. В наших опытах мы обычно применяли 2 мг/мл глюкозы и вычисляли данные обмена веществ за первые тридцать минут.

Брин <sup>(2)</sup> изучал вопрос о том, тормозят ли фосфорилированные гексозы, подобно глюкозе, дыхание асцитических раковых клеток. Полученные им отрицательные результаты доказывают только то, что уже известно относительно других клеток: фосфорилированные гексозы не способны проникать через клеточные оболочки. Нам удалось показать, что после разрушения структуры клеток фруктозодифосфат тормозит

дыхание в такой же степени, как глюкоза тормозит дыхание неразрушенных клеток, и это лишний раз доказывает, что торможение вызывается гликолизом (3).

2. Образование асцитических клетками АТФ. Пропуцирование полезной энергии в асцитических клетках не соответствует интенсивности их дыхания. Это показывают определения АТФ приведенные нами с помощью специфического микрометода Крамер — Петко — Штрауба (4). В то время как содержание АТФ в свежих клетках в момент взятия пробы равно 2,1 мг/мл, в отсутствие глюкозы в кислороде через 30 минут, содержание АТФ, несмотря на активное дыхание понижается до 0,57 мг/мл. В то же время при наличии глюкозы, тормозящей

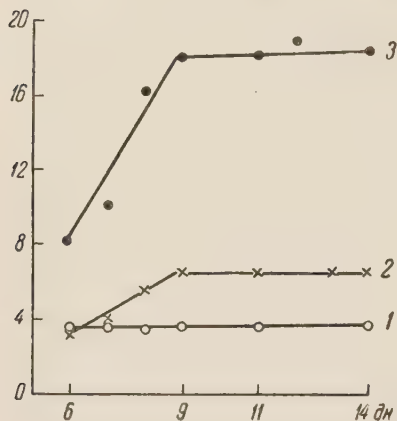


Рис. 1. Клетки в растворе Кребс-Генселейта, темп. 38°; Q-поглощение  $O_2$  или отдача  $CO_2$  в мл/мл клеток. 1 — дыхание в присутствии глюкозы, 2 — дыхание в отсутствие глюкозы, 3 — аэробный гликолиз

дыхание, содержание АТФ повышается до 2,8 мг/мл. Таким образом, эндогенное дыхание, заключающееся главным образом в окислении молочной кислоты (5), не может сохранить равновесия между расходом и синтезом макроэргических фосфатов, тогда как аэробный гликолиз способен на это. Этот факт одновременно указывает, почему клетки нуждаются в высоком уровне аэробного гликолиза.

3. Связь тормозящего влияния глюкозы с внутриклеточным содержанием фосфата. Согласно теории Линена (6) пастеровский эффект вызывается тем, что как окисление, так и гликолиз являются процессами, требующими неорганического фосфата. Если окисление потребляет неорганический фосфат более интенсивно, оно тормозит гликолиз. На основе этой теории объяснение обратного пастеровского эффекта следует

искать в том, что в результате аэробного гликолиза в асцитических раковых клетках неорганический фосфат потребляется более интенсивно, чем в результате дыхания этих клеток. Это значит, что в аэробных условиях, в отсутствие глюкозы, следует ожидать более высокого уровня неорганического фосфата, а в присутствии глюкозы более низкого уровня (содержание  $P_0$ , определяемое методом Фiske — Субарова (7), после осаждения белков трихлоруксусной кислотой является, по всей вероятности, более высоким, чем действительное содержание неорганического фосфата, так как кроме креатин-фосфата нужно считаться и с возможностью наличия других, еще неизвестных, легко гидролизующихся фракций фосфата. Мы пока еще не располагаем надежным методом определения неорганического фосфата, и поэтому ограничились определением  $P_0$ ).

В соответствии с приведенными выше величинами содержания АТФ оказалось, что в ходе инкубации, происходившей в аэробных условиях без глюкозы, содержание  $P_0$  повышается, а при наличии глюкозы понижается (табл. 1).

Эта теория подтверждается и нашими данными, полученными при наличии 2,4-динитрофенола. Под действием 2,4-динитрофенола, как известно, в большинстве тканей дыхание усиливается, но в то же время повышается и уровень неорганического фосфата, потому что фосфорилирование, связанное с окислением, тормозится (8). Известно также, что динитрофенол не влияет на анаэробный гликолиз. Наши опыты показывают, что динитрофенол соответствующей концентрации не тормозит, а, наоборот, несколько усиливает аэробный гликолиз в асцитических рако-

ых клетках. Динитрофенол в данной концентрации однако прекращает действие глюкозы, тормозящее дыхание. Определение содержания неорганического фосфата показывает, что по сравнению с уровнем  $P_0$ , най-

Таблица 1

Изменение неорганического фосфата и АТФ под действием инкубации с глюкозой и без нее. (В пересчете на 1 мл клеток. Атмосфера — воздух или 95%  $N_2$  + 5%  $CO_2$ . Концентрация глюкозы 0,02 М; температура 38°

Срок инкубации в мин.	Аэробно				Анаэробно			
	$P_0$	$P_t$	$P_t - P_0$	АТФ	$P_0$	$P_t$	$P_t - P_0$	АТФ
0	510	770	260	2120	—	—	—	—
30	300	650	350	2860	300	700	400	3280
30 без глюкозы	700	770	70	570	650	710	60	470

денным в присутствии глюкозы, в присутствии динитрофенола содержание  $P_0$  оказывается более высоким (см. табл. 2).

Таблица 2

Действие ДНФ на дыхание, аэробный гликолиз и уровень неорганического фосфата. (Время инкубации 30 мин.; температура 38°)

Проба	$Q_{O_2}$ без глюкозы	$Q_{O_2}$ в присутствии глюкозы	$Q_{CO_2}$	$P_0$ мкг
Без ДНФ	6,0	3,5	18	300
$1 \cdot 10^{-4}$ М ДНФ	6,2	7,0	20	500

Опыты Н. В. Ельциной и И. Ф. Сейца <sup>(1)</sup> впервые показали, что тормозящее дыхание действие глюкозы действительно является следствием аэробного гликолиза, так как под действием монобромасцетата торможение исчезает. Вышеописанные наши опыты полностью подтверждают заключение этих авторов. Особенно важным по нашему мнению является наше наблюдение, что в клетках, полученных на 6-й и 7-й день после прививки, аэробный гликолиз стоит на низком уровне и в то же время торможения не наблюдается.

Все наши опыты говорят о том, что обратный пастеровский эффект, так же как и обычный пастеровский эффект, объясняется теорией, согласно которой уровень неорганического фосфата определяет дыхание и гликолиз. В клетках, в которых фосфорилирование, связанное с дыханием, берет перевес, появляется обычный пастеровский эффект, а в асцитических раковых клетках, в которых аэробный гликолиз весьма интенсивен и окислительное фосфорилирование слабо, наблюдается обратный пастеровский эффект.

Наши опыты не разрешают вопроса о том, каким образом способен аэробный гликолиз связывать неорганический фосфат так интенсивно. Опыты В. А. Энгельгардта и Н. Е. Сакова <sup>(2)</sup> указывают на то, что ключом пастеровского эффекта является изменение активности фосфофруктокиназы. Наши знания относительно этого процесса очень невелики, и

его изучение может приблизить нас к познанию обычного и обратного пастеровского эффекта, а также типа обмена веществ быстро растущих клеток.

Медицинский университет  
Будапешт, Венгрия

Поступило  
22 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. В. Ельцин, И. Ф. Сейц, ДАН, **77**, 653 (1951). <sup>2</sup> M. Brin, Fed. Proc. **12**, 182 (1953). <sup>3</sup> Г. Ач, Диссертация, Budapest, 1953. <sup>4</sup> M. Kramer, E. Pettko, F. B. Straub, Kis. Orvost., **1**, 114 (1949). <sup>5</sup> O. Warburg, E. Hiepler, Zs. Naturf., **76**, 193 (1952). <sup>6</sup> F. Lynen, Ann., 546, 120 (1941). <sup>7</sup> C. H. Fiske, I. Subarow, J. Biol. Chem., **66**, 375 (1925). <sup>8</sup> И. Ф. Сейц, В. А. Энгельгардт, ДАН, **66**, 439 (1949). <sup>9</sup> В. А. Энгельгардт, Н. Е. Саков, Биохимия, **8**, 9 (1943).



Е. А. БОЙЧЕНКО и В. И. БАРАНОВ

# УЧАСТИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ФОТОРЕДУКЦИИ УГЛЕКИСЛОТЫ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ХЛОРОПЛАСТАМИ

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 3 II 1954)

При восстановлении изолированными хлоропластами на свету углекислоты, меченной  $C^{14}$ , наблюдались большие колебания в активности отдельных препаратов. В одинаковых условиях опытов способность хлоропластов к восстановлению сильно изменялась при выделении их из растений в разные месяцы или даже в разные недели одного месяца. Опыты проводились в водороде или азоте с 2,5%  $C^*O_2$  при температуре  $20^\circ$  при освещении от 2500 до 40 люксов. Лучшие результаты были получены при освещении меньше 100 люксов, после предварительной адаптации хлоропластов в анаэробных условиях. Но и в этих опытах были обнаружены колебания активности в десятки раз (см. табл 1).

Таблица 1

Усвоение  $C^*O_2$  хлоропластами на свету

Препараты	Усвоение $C^*O_2$ в вес. %		$\frac{a}{b}$
	наибольшее (a)	наименьшее (b)	
Хлоропласты из белого клевера . . .	0,032	0,0005	64
Хлоропласты из примулы . . . . .	0,040	0,0005	80
То же + „фермент“ .	0,2	0,004	50

Эти колебания сильно затрудняли проведение опытов. Например, сравнение влияния внешних условий (содержание  $C^*O_2$ , температура, свет и др.) было возможно только с хлоропластами, выделенными из растений в одно время (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>). Выяснение причины разной активности препаратов указало бы путь для увеличения количества восстанавливаемой углекислоты. Ранее в нашей лаборатории было обнаружено участие железа в образовании первичных продуктов восстановления (<sup>3</sup>), поэтому были проведены его определения в препаратах хлоропластов с разной активностью. Определения железа проводились колориметрическим методом с роданистым калием, до и после обработки хлоропластов 0,1 M соляной кислотой (<sup>4</sup>). В целых хлоропластах все железо находилось в органических соединениях. В случае распада хлоропластов на части содержание этого железа резко уменьшалось, но такие препараты не употреблялись в опытах. Между тем сильные различия в активности наблюдались у хлоропластов с почти одинаковыми количествами железа (см. табл. 2).

Так, хлоропласты, выделенные из белого клевера 17 VI, были мало активны к восстановлению углекислоты, выделенные 15 VIII отличались средней активностью, а выделенные 11 IX были наиболее активны, хотя и с меньшим содержанием железа, чем предыдущие. Из примулы хлоропласты от 1 IX были очень активны, а от 7 IX — почти с тем же содержанием железа, но средне-активны; выделенные 29 IX были очень активны, а от 26 XII с тем же содержанием железа — мало активны. Кроме приведенных здесь примеров, были проведены, десятки определений железа в разных препаратах хлоропластов, но установить зависимость колебаний их активности от содержания железа не удалось.

Таблица 2

Содержание железа в хлоропластах

Препараты	Дата выделения	Содержание Fe после 0,01 N HCl в %	
		к хлоропластам	к их золе
Хлоропласты из белого клевера . . .	17 VI	0,21	4,9
	15 VIII	0,43	6,2
	11 IX	0,27	5,1
Хлоропласты из примулы . . . . .	1 IX	0,41	4,6
	7 IX	0,45	5,2
	29 IX	0,30	6,6
	26 XII	0,30	5,1

Так как наибольшей активностью обладали хлоропласты, которые при выделении были менее тщательно отмыты от раствора, отсутствие активности могло объясняться утратой каких-то необходимых веществ. Добавление их к хлоропластам могло бы значительно увеличить восстановленные углекислоты. Фагер <sup>(5)</sup> наблюдал увеличение фотохимической фиксации углекислоты хлоропластами при добавлении к ним препарата «фермента», полученного осаждением 60% ацетоном желтоватого раствора, остающегося после отделения пластид. Добавление такого «фермента» к хлоропластам в наших опытах увеличивало восстановление ими углекислоты в пять и более раз.

Наибольшее значение усвоенной при этом на свету углекислоты составляло 0,2% от веса препаратов. Это на много превышает все известные из литературы данные для опытов вне клеток. При кипячении препаратов после опытов с 80% этиловым спиртом около 90% радиоактивности оставалось в осадке. При кипячении же их с водой почти все продукты восстановления  $C^*O_2$ , содержавшие меченый углерод, переходили в раствор. В опытах в темноте в присутствии «фермента» усвоение  $C^*O_2$  было раз в 20 меньше, чем на свету.

Однако и при добавлении препаратов «фермента» на свету были обнаружены сильные колебания в восстановлении углекислоты. Поэтому проводилось сравнительное изучение активных и мало активных препаратов. При перерастворении «фермента» из 60% ацетона, подкисленного 0,01 N соляной кислотой, около 80% первоначального осадка переходило в раствор. Этот раствор при получении как из активных, так и из мало активных препаратов давал реакцию на углеводы с альфа-нафтолом, на кетозы, слабое порозовение с резорцином, оливковое окрашивание с орцином и особенно яркую реакцию с нафторезорцином. И красное окрашивание здесь не переходило равномерно в бензол, а собиралось в виде хлопьев на грани двух слоев. В оставшихся после обработки соляной кислотой осадках «фермента» определялось железо (см. табл. 3).

Добавляемая к хлоропластам фракция состояла, таким образом, в значительной части из полиуронидов плюс остаток с высоким содержанием органических соединений железа, приближавшейся по содержанию железа к геминам. Это подтверждало ранее высказанное предположение об участии ферментов, в состав которого входит железо, в образовании первичных продуктов восстановления углекислоты при фотосинтезе (3).

Фракция «фермента» похожа на комплекс, отделяемый от хлоропластов кипячением с водой, как по содержанию полиуронидов, так и по высокому проценту органических соединений железа. Нами было установлено, что восстановление  $C^*O_2$  без добавления «фермента» проходит лучше у тех изолированных хлоропластов, где больше находится комплекса. Вероятно, дело идет об одном и том же очень лабильном ферментном факторе, либо остающемся частично на хлоропластах после выделения их, либо вносимом дополнительно. От него зависят колебания способности к восстановлению углекислоты изолированными хлоропластами.

Этот «фермент» способен фиксировать  $C^*O_2$  и в отсутствие хлоропластов (около 0,008% от веса), но в их присутствии на свету усвоение ее увеличивается в десятки раз. Образовавшиеся продукты некоторое время находятся вблизи «фермента» и относятся к воднорастворимым веществам, дающим красное окрашивание с нафторезорцином. Вышеописанное восстановление  $C^*O_2$  вне клеток по цветным реакциям, растворимости, легкой адсорбируемости и другим свойствам напоминает образование первичных продуктов фотосинтеза в целых растениях, изучавшееся А. М. Кузиным и Н. Г. Доманом (6, 7).

Усвоение изолированными хлоропластами на свету меченой углекислоты до 0,2% от их веса при участии выделенного из растений препарата «фермента» с высоким содержанием железа открывает путь для непосредственного изучения химии участвующих в фотосинтезе металл-содержащих ферментов.

Институт геохимии и аналитической химии  
им. В. И. Вернадского  
Академии наук СССР

Поступило  
2 II 1954

Таблица 3  
Содержание железа в препаратах «Фермента»

Препараты	Остаток после HCl в %	Fe в остатке	
		в %	различия
Опыт 1			
Активный . . . . .	16,6	1,176	} В 54 раза
Мало активный . . . . .	18,0	0,022	
Опыт 2			
Активный . . . . .	19,0	1,340	} В 25 раз
Мало активный . . . . .	23,0	0,053	

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. П. Виноградов, Е. А. Бойченко, В. И. Баранов, ДАН, 78, 327 (1951). <sup>2</sup> Е. А. Бойченко, В. И. Баранов, ДАН, 91, 339 (1953). <sup>3</sup> Е. А. Бойченко, ДАН, 64, 545 (1949); ДАН 70, 1037 (1950). <sup>4</sup> K. Noack, H. Liebich, Naturwissenschaften, 29, 302 (1941). <sup>5</sup> E. Fager, Arch. Biochem., 37, 5 (1952). <sup>6</sup> А. М. Кузин, Н. Г. Доман, ДАН, 72, 77 (1950). <sup>7</sup> Н. Г. Доман, ДАН, 93, 115 (1953).





А. С. КАЙНОВА, Б. Н. СТЕПАНЕНКО и А. Н. ПЕТРОВА  
**ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГЛИКОГЕНОВ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 28 I 1954)

Возможность получения полисахаридов типа гликогена путем ферментативного синтеза *in vitro* при помощи ферментов животных организмов была показана Кори (1), который пользовался для этого ферментами различного происхождения — фосфорилазой мышц и экстрактом печеночной ткани, содержащими «ветвящий» фермент.

В Лаборатории физиологической химии АН СССР один из нас (2) показал возможность синтеза *in vitro* гликогеноподобных полисахаридов при помощи ферментов одинакового происхождения — мышечной фосфорилазы и выделенного из мышц «ветвящего» фактора — фермента ИА (изомеразы амилозы). В обоих случаях, однако, синтетические полисахариды были получены в весьма небольших количествах и могли быть охарактеризованы лишь по некоторым признакам: иодной реакции (1, 2) и расщепляемости  $\beta$ -амилазой (2). Изучение строения синтетических полисахаридов типа гликогена (в отличие от синтетических полисахаридов типа амилозы) никогда не производилось. В то же время детальное изучение строения синтетических гликогеноподобных полисахаридов, установление их сходства или различий по сравнению с природными представляет весьма важную задачу, в частности, для проверки и оценки наших современных представлений о биосинтезе гликогена. Указанная работа, однако, возможна лишь после разработки удовлетворительного препаративного метода получения синтетических гликогеноподобных полисахаридов, дающего возможность получать их в количествах, достаточных для детального исследования. Разработка препаративного метода получения синтетических гликогенов и составляла цель настоящего исследования.

Для синтеза гликогенов мы воспользовались получением их из 1-фосфата глюкозы при помощи мышечных ферментов — фосфорилазы и фермента ИА в присутствии в качестве «затравки» небольших количеств гликогена и каталитически действующего цистеина.

Исходные вещества и ферментные препараты. Кристаллический 1-фосфат глюкозы мы получали по (3) с небольшими изменениями. Полученный препарат, судя по анализу, имел формулу  $C_6H_{11}O_5OPO_3K_2 \cdot 2H_2O$ . Гликоген, необходимый в качестве «затравки», выделялся нами из мышц и печени по (4); после повторных переосаждений он не содержал золы и фосфора, содержал 0,03% N. Цистеин солянокислый применялся продажный, кондиционный. Фосфорилазу мы получали из мышц кролика по (5) с небольшими изменениями. Применяемый нами для синтеза препарат фосфорилазы представлял собой суспензию в дистиллированной воде кристаллов  $(NH_4)MgPO_4$  с адсорбированной на них фосфорилазой. Количество воды, применявшейся для приготовления суспензии, обычно было равно 0,02 веса мышц, взятых для получения данных кристаллов ( $MgNH_4PO_4$ -фосфорилаза). Отсутствие  $\alpha$ -амилазы проверялось в каждом препарате фосфори-

лазы путем инкубирования его с 1% раствором крахмала в течение 7—10 дней. Активность фосфорилазы определялась по отщеплению остатков фосфорной кислоты от 1-фосфата глюкозы при стандартных условиях и выражалась в процентном отношении отщепившегося фосфата к исходному «органическому» фосфату. (Максимальная активность фосфорилазы при установлении равновесия синтез  $\rightleftharpoons$  фосфороллиз может быть равна 70%.)

Фермент ИА мы получали из мышц кролика по (2). Ферментный препарат, применяемый для синтеза, представлял собой раствор фермента ИА в буферном растворе ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ), взятом в количестве 0,1 от веса взятых для выделения фермента мышц. Проверка отсутствия в препарате ИА  $\alpha$ -амилазы и активность ИА проверялись одновременно путем инкубации с 1% раствором крахмала (в течение 7—10 дней) по изменению иодной реакции отбираемых проб. Изменение синей окраски с иодом в сине-зеленую уже на 1—2-й день инкубации было признаком очень хорошей активности ИА (что обозначалось  $\times\times\times$ ). При использовании ступенчатого фотометра уже через 4 часа действие препаратов такой активности ( $\times\times\times$ ) можно наблюдать в виде смещения абсорбционного максимума пробы с иодом с 610 к 570 м $\mu$  и изменения экстинкции в точке максимума с 0,70—0,75 до 0,40—0,48. Изменение синей окраски с иодом на красно-бурую (на 1—2-й день) свидетельствовало о хорошей активности ИА ( $\times\times$ ).

Контроль за ходом синтеза качественно осуществлялся: 1) путем наблюдения за изменением окраски проб инкубационной жидкости с иодом; 2) по растворимости образующегося полисахарида (в случае синтеза амилозоподобных полисахаридов происходило выпадение их из раствора). Количественное наблюдение за ходом синтеза велось: 1) по нарастанию неорганического фосфата в инкубационной смеси, 2) путем определения количества полисахарида, анализируемого в виде глюкозы, образовавшейся после кислотного гидролиза диализованной инкубационной смеси (с учетом затравки).

В процессе работы необходимо было разрешить ряд вопросов, не освещенных или недостаточно освещенных в работах (1, 2), т. е. найти: 1) оптимальную концентрацию исходного вещества — 1-фосфата глюкозы; 2) оптимальные условия в отношении pH, среды и температуры; 3) оптимальное количество применяемого в качестве затравки гликогена; 4) оптимальное соотношение активностей ферментов фосфорилазы и ИА и количеств их препаратов. Оптимальной концентрацией 1-фосфата глюкозы оказалась концентрация 0,016 M, что подтвердило данные (1). Большие концентрации 1-фосфата глюкозы тормозят реакцию. Оптимальным pH среды оказался 6,9—7,0; оптимальной температурой 25°.

При выяснении оптимального количества применяемого в качестве затравки гликогена мы стремились воспользоваться минимальными затравками, обеспечивающими достаточно интенсивный синтез. Стремление к минимальным затравкам было вызвано желанием получить гликоген, по возможности мало «разбавленный» затравкой. Изучались затравки 0,1; 0,5 и 1,0 мг/мл инкубационной смеси (0,01; 0,05 и 0,1%). Оказалось, однако, что при 0,01 и 0,05% затравки при различных изменяемых нами активностях и количествах препаратов ферментов в инкубационной смеси образуются полисахариды типа амилопектина и амилозы (окрашивающиеся иодом в синий и сине-фиолетовый цвет и выпадающие в осадок). Лишь при количестве затравок 0,1% при определенных соотношениях активностей ферментов происходило образование значительных количеств полисахаридов типа гликогена, дающих красно-бурое или желто-бурое окрашивание с иодом.

Опыты по выяснению оптимальных активностей ферментов частично сведены в табл. 1 (время инкубации во всех опытах 16 час., содержание дистиллята солянокислого 0,03 M).

Таблица 1

Влияние активностей ферментов на характер  
синтезирующих полисахаридов

№ опыта	Объем инкубационной смеси в мл	Затравка в мг	Фосфорилаза		Изомеразы амилозы		Синтез в %	Окраска с иодом синтезированных полисахаридов	
			активность в %	объем препарата в мл	активность в %	объем препарата в мл		в осадке	в растворе
1	120	120	70	15	×××	45	70	Фиолетово-красная	Красно-бурая
2	80	80	70	10	×××	10	70	То же	То же
3	150	150	60	20	×××	20	60	Осадок нет	" "
4	80	80	50	10	×××	10	50	" "	" "
5	130	130	40	16	×××	16	40	" "	" "
6	80	80	50	50	××	10	50	Фиолетов.	" "
7	90	90	50	12	×	12	48	"	" "

Как видно из таблицы, результат синтеза в высокой степени зависит от соотношения активностей ферментов. В первых 5 опытах при постоянной очень высокой активности ИА (×××) мы пользовались фосфорилазой с постепенно понижающейся активностью (от 70 до 40%). Оказалось, что в опытах с высокой активностью фосфорилазы (70%) наряду с образованием гликогеноподобных продуктов идет и образование полисахаридов типа амилопектина: фермент ИА как бы «не успевает» произвести в нужной степени изомеризацию длинных полисахаридных цепей, образуемых фосфорилазой. Наилучшие результаты наблюдаются в опытах 3, 4 и 5, когда при очень высокой активности ИА активность фосфорилазы равна 60—40%. При понижении активности фосфорилазы ниже 40% (при активности ИА (×××)) также образуются гликогеноподобные продукты, но количество их меньше. Применение в опытах 6 и 7 фермента ИА меньшей активности (×× и ×) приводит опять к выпадению в осадок крахмалоподобных полисахаридов. Следовательно, оптимальным соотношением активностей ферментов является активность фосфорилазы 40—60% при максимальной активности фермента ИА (×××).

Таким образом, для успешного синтеза гликогена необходимы следующие условия: в 1 мл инкубационной смеси должно быть 1-фосфата глюкозы 6 мг (0,016 М); затравки гликогена 1 мг (0,1%); препарата фосфорилазы с активностью 40—60% 0,125 мл; препарата фермента ИА с активностью (×××) 0,125 мл; рН инкубационной смеси 6,9—7,0; температура 25°.

Пользуясь указанными условиями, мы разработали два варианта препаративного синтеза гликогенов.

I вариант. Несколько инкубационных смесей (от 2 до 5) объемом 10—140 мл ставятся параллельно при указанных выше соотношениях ингредиентов (постановка инкубационной смеси сразу в большом объеме приводила обычно к неудачам, аналогичным неудачам при перенесении лабораторных методов в условия более крупных масштабов). За ходом синтеза следили по окраске с иодом отбираемых проб, а также по нарастанию неорганического фосфата. После 10—16 час. инкубации окраска проб становилась интенсивной красно-бурой; после инкубации 16—32 часа — желто-бурой. В зависимости от желаемой окраски с иодом синтезированного гликогена, а также от степени синтеза (отщепления неорганического фосфата) синтез прерывался добавлением 50% трихлоруксусной кислоты до концентрации 5%. Осадок белка отделялся и раствор ставился на диализ против водопроводной, а затем дистиллированной воды на холоду в течение 2—3 суток. После диализа синтезированный полисахарид осаждался 2 объемами спирта, через 1—2 суток отделялся, про-



мывался спиртом и сухим эфиром и далее подвергался обычной очистке<sup>(6)</sup>.

Приводим в качестве примера получение препарата № 1 (24 III 1952 г.). Приготовлено 5 инкубационных смесей. Смесей I и II содержали каждая: 480 мг 1-фосфата глюкозы; 160 мг цистеина; 80 мг гликогена; 10 мл фосфорилазы; 10 мл ИА; 60 мл воды. Смесей III и IV содержали каждая: 240 мг 1-фосфата глюкозы; 80 мг цистеина; 40 мг гликогена; 5 мл фосфорилазы; 5 мл ИА; 30 мл воды. pH 6,8; 7,0;  $T = 25^{\circ}$ ; активность фосфорилазы 60%; активность ИА  $\times\times\times$ .

Через 16 час. синтез прошел на 60%, окраска проб иодом красно-фиолетовая; через 32 часа — синтез на 60%, окраска проб с иодом красно-бурая. Фосфорилаза отделена, инкубационные смеси объединены, прибавлена трихлоруксусная кислота, и далее смесь обработана, как описано выше. После очистки получено 500 мг гликогена.

II вариант синтеза гликогенов заключается в постепенном «выращивании» затравки путем периодического добавления в инкубационную смесь 1-фосфата глюкозы и ферментов и периодического удаления «отработавших» ферментов и низкомолекулярных примесей. Синтез каждого гликогена состоит, таким образом, из нескольких циклов. Каждый цикл включает 2—3-кратное прибавление 1-фосфата, ферментов и цистеина до оптимальной, указанной выше, концентрации; когда прибавление этих компонентов не давало дальнейшего накопления гликогена в инкубационной смеси, производилось инактивирование ферментов трихлоруксусной кислотой, их удаление и диализ против водопроводной и дистиллированной воды. После этого добавлением всех компонентов, необходимых для синтеза (кроме затравочного гликогена), начинался новый цикл. Контроль за ходом синтеза производился при помощи иодной реакции, а также анализа на содержание полисахаридов (после диализа и гидролиза пробы). При этом варианте мы получали 10—20-кратное количество гликогена по сравнению с исходным.

Так например, при синтезе гликогена № 4 инкубационная смесь 1-го цикла содержала: 420 мг 1-фосфата глюкозы; 210 мг цистеина; 70 мг гликогена; 9 мл фосфорилазы; 10 мл ИА; 51 мл воды при активности фосфорилазы 33%, активности ИА  $\times\times\times$ , pH 7,0 и  $T = 25^{\circ}$ . В результате 4 циклов (8-кратное прибавление ферментов, субстрата и цистеина и 4-кратный диализ) было получено 690 мг гликогена.

II вариант метода имеет очевидные преимущества перед I.

Лаборатория физиологической химии  
Академии наук СССР

Поступило  
27 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Т. Cori, С. F. Cori, J. Biol. Chem., **135**, 733 (1940). <sup>2</sup> А. Н. Петрова, Изучение процессов энзиматического распада и синтеза гликогена в мышцах, Докт. диссерт., М., 1950. <sup>3</sup> С. S. Hanes, Proc. Roy. Soc., **128** B, 421 (1939). <sup>4</sup> P. Ostern, S. Hübl, Acta biol. exp., **12**, 89 (1939). <sup>5</sup> А. Н. Петрова, Е. Л. Розенфельд и др., ДАН, **66**, 1141 (1949). <sup>6</sup> Б. Н. Степаненко, Е. М. Афанасьева, Биохимия, **12**, 111 (1947).



Н. П. ЛИСОВСКАЯ

## ФОСФОПРОТЕИНЫ И ПРОЦЕССЫ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ В МОЗГУ

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 8 II 1954)

За последние годы фосфопротеиновая фракция тканей животных привлекала внимание исследователей вследствие необычайно высокой интенсивности обмена содержащегося в ней фосфора. Есть все основания предполагать, что соединения, обладающие большой подвижностью и легко вступающие в обмен, играют существенную роль в функционировании органа или ткани, поэтому интерес, проявленный в отношении фосфопротеинов, вполне закономерен. Однако в большинстве работ, посвященных изучению фосфопротеинов (ФП), авторы ограничивались констатацией факта высокой скорости обмена этой белковой фракции, не ставя перед собой задачи установить зависимость обмена ФП от тех или иных физиологических условий (1-6).

В настоящей работе фосфопротеиновая фракция серого вещества мозга изучалась с точки зрения возможности ее участия в обменных процессах, протекающих в мозгу. Подопытными животными служили крысы; срезы серого вещества мозга инкубировались в солевом растворе Мак-Ильвейна (7), куда добавлялся меченый фосфат в количестве 3—4  $\mu$ C на 0 мл раствора. После инкубации срезы 6—10 раз ополаскивались охлажденным физиологическим раствором, гомогенизировались в трихлоруксусной кислоте, вслед за чем производилось фракционирование фосфорсодержащих фракций по методу Шмидта — Таннгаузера (8). Радиоактивность отдельных фракций определялась в магнезиальных осадках. В этих осадках производили аналитическое определение фосфора по методу Фiske — Суббароу (9). Интенсивность обмена характеризовали величиной удельной радиоактивности (число импульсов в минуту на 1  $\gamma$  Р). В ряде таблиц приведена величина относительной удельной радиоактивности — отношение 
$$\frac{\text{число имп/мин/}\gamma \text{ Р фосфопротеинов}}{\text{число имп/мин/}\gamma \text{ неорганич. внутриклеточн. Р}}$$

В первых опытах был произведен сравнительный анализ скорости обмена различных белковых фракций мозга, содержащих фосфор. Была подтверждена установленная рядом авторов (1, 10) высокая радиоактивность ФП мозга по сравнению с радиоактивностью РНК и ДНК. В двух опытах получены следующие величины для удельной радиоактивности (в имп/мин/γР): в первом ФП 284; РНК 17; ДНК 3; во втором опыте ФП 406; РНК 57; ДНК 27.

Поскольку радиоактивность ФП зависит по меньшей мере от двух факторов: 1) скорости обмена этих соединений и 2) скорости проникновения  $P^{32}$  из среды в клетки срезов, оказалось необходимым во всех опытах определять радиоактивность внутриклеточного неорганического фосфата. Это давало возможность исключить погрешность, которая могла иметь место, когда под влиянием тех или иных условий изменялась проницаемость клеточной оболочки по отношению к фосфору.

Самое прямое доказательство участия ФП в обмене дал бы опыт, в котором сравнивалась бы радиоактивность ФП, выделенных после инкубации с раствором  $P^{32}$  при физиологических условиях, с радиоактивностью этой фракции, полученной из срезов, фиксированных трихлоруксусной кислотой до добавки радиоактивного раствора. Однако такая постановка опыта оказалась невозможной, так как не удавалось отмыть добавленный к обработанным трихлоруксусной кислотой срезам раствор  $P^{32}$ . Минеральный фосфат неизменно загрязнял фосфопротеиновую фракцию и обуславливал ее высокую радиоактивность. Это чисто методическое затруднение заставило некоторых авторов усомниться в реальности самого существования ФП (3). Используя отмывку срезов холодным физиологическим раствором до фиксации их трихлоруксусной кислотой, мы получили возможность в значительной мере очистить фосфопротеиновую фракцию от загрязняющего ее минерального фосфата и установить ряд закономерностей ее обмена.

В качестве одного из способов остановки ферментативных реакций мы использовали воздействие низкой температуры. Контрольные пробы срезов хранились в солевом растворе на льду, в то время как опытные инкубировались при  $37^\circ$ . Обычное время инкубации составляло 60 мин. Оказалось, что при низкой температуре скорость проникновения  $P^{32}$  в клетку заметно снижается, но интенсивность обмена ФП уменьшается не

Таблица 1

Удельная радиоактивность ФП и неорганического Р клеток при инкубации срезов мозга при 0 и  $37^\circ$  (имп/мин/γР)

№ опыта	Неорг. Р		Р ФП		Относит. уд. радиоактивн.	
	0°	37°	0°	37°	0°	37°
1	285	676	37	390	0,43	0,58
2	368	800	42	500	0,11	0,62
3	308	618	27	123	0,09	0,20
4	290	460	40	170	0,13	0,37
5	250	410	100	210	0,40	0,50

значительно большей мере и не может полностью быть отнесена за счет снижения количества меченого минерального фосфата, поступающего в клетку (см. табл. 1).

Из табл. 1 видно, что в то время как радиоактивность неорганического фосфата в контроле (инкубация при  $0^\circ$ ) приблизительно в 2 раза меньше, чем в опыте (инкубация при  $37^\circ$ ), соответствующая разница в радиоактивности ФП значительно больше. Эта серия опытов дала

убедительное доказательство реальности существования ФП и большой скорости их обновления при физиологических условиях. В самом деле, если бы речь шла не о специфической фракции, характеризующейся высоким уровнем обменных процессов, но о наличии неотмытого минерального фосфата, то радиоактивность ФП при различных условиях должна была бы полностью совпадать с таковой неорганического фосфата или быть ей пропорциональной. В опытах же была обнаружена существенная разница между обменом ФП и клеточного неорганического фосфата. Эта разница еще более четко выявилась в тех условиях, когда инкубирование срезов производилось в присутствии различных веществ, влияющих на обменные реакции.

Известно, что нормальное функционирование мозговой ткани требует постоянного притока глюкозы — мозг чрезвычайно чувствителен к понижению содержания сахара в крови. Выключение глюкозы из среды, в которой инкубируются срезы, ведет к резкому снижению радиоактивности ФП и одновременно несколько снижает радиоактивность неорганического фосфата (см. рис. 1). Последнее обстоятельство связано с распадом органических фосфорных соединений, в результате чего содержание неорганического Р в клетках, инкубированных в безглюкозной среде, значительно возрастало, а радиоактивность его падала.

NaCN, угнетающий клеточное дыхание, затормаживает и обмен ФП

м. рис. 2). В связи с этим следует упомянуть, что при увеличении парциального давления кислорода в газовой фазе обмен ФП усиливался, чем свидетельствовало увеличение радиоактивности этих соединений. В то же время обмен неорганического Р не подвергался каким-либо изменениям ни в присутствии NaCN ни в атмосфере  $O_2$ .

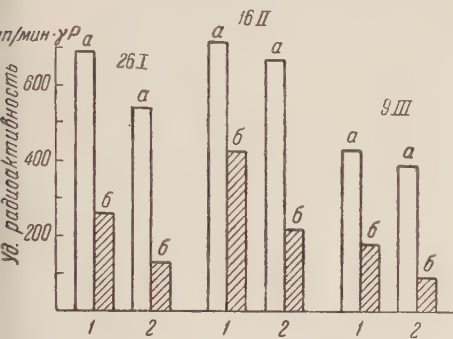


Рис. 1. Влияние добавки глюкозы на интенсивность обмена ФП. 1 — с глюкозой, — без глюкозы. а — неорганический Р, б — ФП

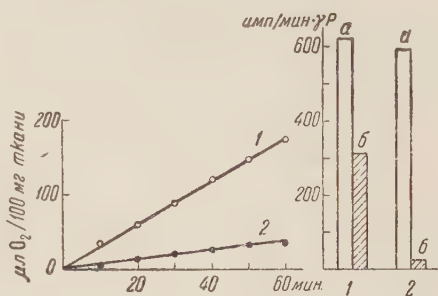


Рис. 2. Дыхание срезом мозга и обмен фосфопротеинов в присутствии  $10^{-2}$  М NaCN. 1 — с глюкозой, 2 — с глюкозой +  $10^{-2}$  М NaCN. а — неорганический Р, б — ФП (инкубация 30 мин.)

Следовательно, возможность и интенсивность протекания в клетке окислительных процессов определяет и обмен ФП. Это же подтвердилось опытами с действием наркотиков — уретана и фенилуретана. В концентрациях, не действующих на дыхание клеток, они не оказывают влияния на обмен ФП. Напротив, угнетающие дыхание концентрации этих веществ резко тормозят превращения этой фракции белков.

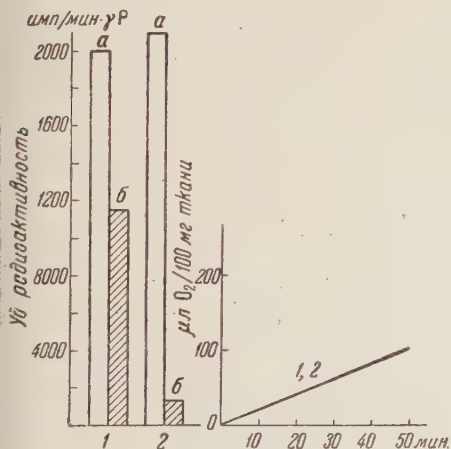


Рис. 3. Дыхание срезом мозга и обмен фосфопротеинов в присутствии  $10^{-4}$  М ДНФ. 1 — без ДНФ, 2 — с  $10^{-4}$  М ДНФ. а — неорганический Р, б — ФП

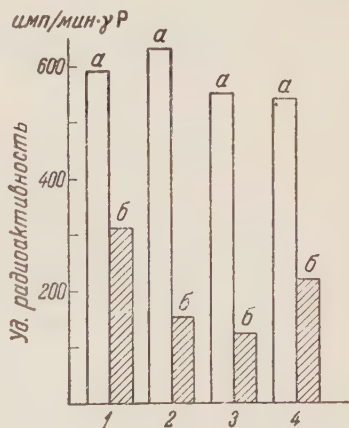


Рис. 4. Влияние глутаминовой кислоты на обмен фосфопротеинов. 1 — с глюкозой, 2 — без глюкозы, 3 — с глутаминовой кислотой, 4 — с глюкозой + глутаминовая кислота. а — неорганический Р, б — ФП

Представляло интерес установить, какой именно вид окислительных процессов необходим для поддержания нормального уровня обмена ФП; установить, всякое ли окисление, протекающее в клетке, является в этом смысле эффективным. Использование вещества, разрывающего связь между окислением и фосфорилированием, — парадитрофенола (ДНФ)



убедительно показало наличие тесной обусловленности обмена ФП с хранностью механизма окислительного фосфорилирования (см. рис. 3).

При сохранении интенсивного дыхания в присутствии ДНФ обмен ФП оказался резко сниженным. Естественно было сделать заключение, что обмен ФП связан не со всякими окислительными превращениями, а лишь с теми, которые вызывают эстерификацию неорганического фосфата и накопление макроэргических фосфорных соединений. Косвенное свидетельство в пользу этого предположения было получено в опытах с воздействием NaF. Согласно данным Балажа и Штрауба (<sup>11</sup>), NaF в концентрации 0,01 М полностью угнетает синтез АТФ срезами мозга. В наших опытах та же концентрация тормозит и обмен ФП.

Последний раздел работы был посвящен исследованию роли глутаминовой кислоты в обмене ФП. Известно, что глутаминовая кислота — единственная аминокислота, подвергающаяся окислению в нервных клетках. Полагают, что окисление глутаминовой кислоты является одним из источников энергии для мозговой ткани. Дыхание в присутствии этого субстрата идет даже с большей интенсивностью, чем на глюкозе (<sup>12</sup>). В наших опытах глутаминовая кислота не только не стимулировала обмен ФП, но несколько замедляла его (см. рис. 4).

На основании проведенного исследования можно утверждать, что:

1. ФП представляют собой реально существующую фракцию белковых веществ, характеризующуюся определенными закономерностями обмена.

2. Скорость превращений ФП превосходит таковую других белковых фосфорных соединений, в частности нуклеиновых кислот.

3. Обмен ФП зависит от протекающих в клетке окислительных процессов. Все воздействия, нарушающие нормальное дыхание (NaCN, цианиды), задерживают обмен ФП.

4. Интенсивность обмена ФП в первую очередь связана с механизмом окислительного фосфорилирования. В присутствии яда окислительного фосфорилирования (ДНФ), несмотря на сохранение уровня дыхания, обмен ФП резко снижается.

5. В качестве субстрата, окисление которого связано с обменом ФП, может служить глюкоза, но не глутаминовая кислота.

Институт биохимии им. А. Н. Баха  
Академии наук СССР

Поступило  
27 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. Е. Владимиров, Физiol. журн. СССР, **39**, № 1, 1 (1953). <sup>2</sup> J. N. Davidson, W. M. McIndoe, R. M. Smellie, Biochem. J., **49**, XXXVI (1953). <sup>3</sup> J. N. Davidson, S. C. Frazer, W. C. Hutchison, *ibid.*, **49**, 311 (1953). <sup>4</sup> A. Marshak, F. Calvet, J. Cell. Comp. Physiol., **34**, 451 (1949). <sup>5</sup> R. J. Ross, H. A. De Luca, K. P. Strickland, Feder. Proc., **11**, 277 (1952). <sup>6</sup> R. M. Johnson, S. Albert, J. Biol. Chem., **200**, 335 (1953). <sup>7</sup> H. McIlwain, Biochem. J., **49**, 382 (1954). <sup>8</sup> G. Schmidt, S. Thannhauser, J. Biol. Chem., **161**, 83 (1945). <sup>9</sup> C. Fiske, V. Subbarow, *ibid.*, **66**, 375 (1925). <sup>10</sup> A. J. Smuels, L. L. Boyarsky, et al., Am. J. Physiol., **164**, 1 (1951). <sup>11</sup> Г. А. Р. Балаж, Ф. Б. Штрауб, Укр. биох. журн., **25**, 17 (1953). <sup>12</sup> H. Harris, E. M. Tainter, M. Messer, Nature, **168**, No. 4282, 214 (1951). <sup>13</sup> W. H. Elliott, *ibid.*, **161**, No. 4082, 128 (1948).



ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Действительный член АН БССР М. А. БЕЗБОРОДОВ и М. В. ФЕХНЕР

**ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РУССКИХ СТЕКОЛ  
XI—XIII ВЕКОВ**

При археологических раскопках русских городищ и курганов XI—III вв. встречаются три вида стеклянных изделий: браслеты, бусы и бобы (1). Химическое и микроскопическое изучение русского браслета II в., найденного при раскопках деревянных построек в Замковой горе Гродно, было описано одним из нас несколько лет назад (2). В настоящей статье изложены результаты химического исследования бус и бобышек русского изготовления XI—XIII вв.

Бусы относятся к числу весьма распространенных женских украшений древней Руси. Изготовленные из янтаря, из природных минералов, из цветного стекла, а также из бесцветного стекла, с блестящей металлической прокладкой, они встречаются в значительном количестве при археологических раскопках в Киеве, Новгороде, Старой Рязани, Ладоге, Белоозере, Москве и других древнерусских городах. Повсеместны и обычны находки бус и в деревенских курганах XI—XIII вв. Так например, из 76 женских погребений, раскопанных в Минской обл., в 145 были найдены различные бусы; из 124 женских погребений, исследованных в Калужской обл., 93 содержали бусы; из 33 таких же погребений Калининской обл., инвентарь которых хранится в Государственном историческом музее (в Москве), в 20 встречены бусы.

В те времена бусы входили не только в состав ожерелий, содержащих иногда несколько десятков разнообразных по форме и материалу улит, но, повидимому, использовались нередко и в качестве пуговиц.

Необходимо отметить, что в древнерусских курганах стеклянные бусы численно преобладают над другими группами бус. В Калужской обл., например, стеклянные бусы составляют 67% от общего числа найденных бус, в Минской 83%, в Ярославской 88%, а в Калининской 89%.

Долгое время считали, что бусы из стекла не представляют собой продукта отечественного производства, а являются одним из предметов ввоза с Востока. Однако массовые повсеместные находки стеклянных бус в деревенских курганах XI—XIII вв. и в культурных слоях древнерусских городков делают это предположение несостоятельным и заставляют, напротив, признать, что в древней Руси существовало собственное производство стеклянных бус, тем более что техника изготовления разноцветного стекла была тогда известна, как это доказано раскопками в Киеве, остроуме, Колодяжином и на Райковецком городище (3-6).

Производство бус из цветных стекол находилось, повидимому, в ряде городских центров Руси, откуда они широко проникали в деревню; с усовершенствованием местных особенностей стеклянных бус это предположение получит новое доказательство. Конечно, не исключается также, что частично некоторые виды бус могли быть привозимы из-за пределов Руси.

При разрешении вопроса о месте изготовления стеклянных бус большое значение имеет их физико-химическое изучение. Оно дает представле-

ние об их составах, о сырьевых материалах, потребных для изготовления бус, о красителях для получения цветных стекол, а также о технологии производства их.

В табл. 1 даны результаты химического анализа четырех образцов цветных бус, найденных в курганах Калининской обл. XI—XIII вв.

Таблица 1

Химические анализы образцов русского стекла XI—XIII вв.  
(аналитик Э. П. Бильтюкова)

Компоненты	Бусы				№ 22 Бокал, прозрачный, бесцветный
	№ 21 печеночно-красная непрозрачная	№ 23 светложелтая прозрачная	№ 24 голубовато-зеленая прозрачная	№ 25 темнофиолетовая прозрачная	
SiO <sub>2</sub>	33,68	57,49	52,90	56,12	58,05
TiO <sub>2</sub>	}	1,72	0,80	0,90	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					0,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,64	0,24	0,38	0,31	0,55
CaO	0,25	0,71	1,24	0,42	18,57
PbO	60,36	24,67	25,51	23,27	нет
MgO	0,13	0,20	0,05	0,16	3,33
CuO	нет	—	2,15	нет	нет
Cu <sub>2</sub> O	0,63	нет	нет	"	"
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нет	следы	следы	"	"
CoO	—	—	0,04	"	"
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	—	—	1,96	MnO=0,74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	"	нет	нет	следы	4,41
SO <sub>3</sub>	0,37	0,86	1,11	0,53	0,33
K <sub>2</sub> O	0,51	14,73	14,48	14,44	13,35
Na <sub>2</sub> O	0,73	0,18	1,02	0,93	0,20
Σ	100,02	99,88	99,78	99,13	100,31

Образец № 21. Бусина призматической формы, вытянутая, из прозрачного печеночно-красного стекла, длиной около 1,2 см. Бусы такого стекла условно называются в археологии «пастовыми».

Образец № 23. Бусина шарообразной формы, рубчатая, диаметр 1,3 см, прозрачная, светложелтого цвета.

Образец № 24. Бусина состоит из двух соединенных вместе колесовидных бусин, так называемая «двойная», имеет диаметр 0,6—0,9 см. Цвет ее голубовато-зеленый. Стекло прозрачное.

Образец № 25. Бусина неправильной округлой формы диаметр 1,1 см, темнофиолетового цвета, прозрачная.

Кроме исследования бус, был произведен химический анализ осколка стеклянного бокала XI—XIII вв. из раскопок Б. А. Рыбакова в Вышгороде (около Киева). Б. А. Рыбаков пишет, что при его раскопках в указанном месте в 1935 г. им было найдено около сотни днищ от таких бокалов. В больших количествах они были также обнаружены в Киеве и других южных городах (7, 8). Осколок бокала в тонком слое бесцветный, в толще — в торец — слегка желтоватый. Результаты анализа стеклянного бокала даны в табл. 1, образец № 22.

Сопоставляя анализы пяти стекол, приведенные в табл. 1, можно составить их по составу к трем группам. Печеночно-красная непрозрачная буса изготовлена из многосвинцового силикатного стекла, основная масса которого соответствует примерно составу  $1\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$ . Сумма окиси свинца и кремнезема равняется 94,04%, остальные компоненты имеют подчиненное значение. Окраска стекла зависит прежде всего от закиси меди ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) и затем от окиси железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Непрозрачность стекла можно объяснить тем, что закись меди находится в состоянии ликвации в стеклянном расплаве в виде мельчайших капель, вызывающих окраску в отраженном свете (9, 10). Для изготовления этого стекла были использованы

ны кварцевый песок и окись свинца. Для окраски были введены дополнительно в небольших количествах соединения меди и железа. Остальные компоненты ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{MgO}$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{SO}_3$ ) вошли в состав стекла за счет примесей, находившихся в основных сырьевых материалах.

Бокал изготовлен из калиево-известкового силикатного стекла. Для варки его были использованы кварцевый песок и зола растений или древесных пород. Последняя, как известно, имеет значительные количества окиси кальция, окиси калия и окиси магния, а также некоторое содержание пятиокси фосфора, окиси марганца, серного ангидрида и других компонентов<sup>(11)</sup>. Так как количество пятиокси фосфора в стеклянном бокале достигает 4,41%, то можно допустить, что в состав шихты, помимо песка и древесной золы, была введена в небольшом количестве также костяная зола.

Особый интерес представляют стекла, из которых изготовлены бусы №№ 23, 24 и 25. Они принадлежат по своему химическому составу к одной группе и относятся к калиево-свинцовым силикатным стеклам. Основная масса стекла этих бус соответствует примерно составу  $1\text{K}_2\text{O} \cdot 1\text{PbO} \cdot 5\text{SiO}_2$ , лежащему в поле силиката 1:1:4 системы  $\text{K}_2\text{O} - \text{PbO} - \text{SiO}_2$ <sup>(12)</sup>. Сумма  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$  и  $\text{SiO}_2$  равна в этих стеклах 92,89—96,89%. Ликвидус смеси компонентов, соответствующей анализам №№ 23, 24 и 25 лежит, вероятно, в пределах температур 750—800°. Это говорит о легкоплавкости стекол, из которых изготовлены светложелтая, голубовато-зеленая и темнофиолетовая бусы. Помимо кварцевого песка и окиси свинца, шихты этих стекол содержали поташ, без которого их нельзя было бы сварить. В данном случае исключалась возможность применения золы, так как вместе с последней было бы неизбежно введено в стекло значительное количество окиси кальция, что противоречит анализам.

Производство поташа принадлежало к старейшим и самобытным производством, возникшим на Руси<sup>(13)</sup>. П. М. Лукьянов относит его возникновение «по крайней мере к XV веку»<sup>(14)</sup>. На основании нашего химического изучения бус нельзя не прийти к выводу, что производство поташа было известно на Руси уже в XI—XIII вв. Этот вывод вполне оправдывается и тем еще, что такой родственный промысел для поташного производства, как солеварение, возник на Руси, по П. М. Лукьянову, в XII в.<sup>(15)</sup>

Окраска светложелтой бусины (№ 23) зависит от железа, находящегося в стекле в форме окиси, и, вероятно, также от соединений серы, показанных в анализе в виде серного ангидрида (0,86%).

Специальных красителей при варке стекла для этой цели не вводили — окраска стекла получилась за счет примесей к основным сырьевым материалам, главным образом к песку. Наличие серного ангидрида в образцах №№ 23, 24 и 25 можно объяснить присутствием в поташе сульфата калия (а также отчасти сульфатов натрия и кальция), которые не прореагировали до конца с другими компонентами шихты из-за сравнительно невысокой температуры варки и отсутствия восстановителей в смеси. Голубовато-зеленый цвет бусины № 24 обязан присутствию в стекле двувалентной меди в сочетании с серным ангидридом (1,11%). Сушествовали ли на Руси разработки меди — сказать трудно. Для такой окраски нужны были сравнительно небольшие количества черной медной окалины или медного купороса, которыми, несомненно, располагали русские стеклоделы XI—XIII вв. Окись кобальта, придающая стеклу слабосиневатый оттенок, была импортным товаром и доставлялась в виде краски из Ирана. Известно, что красящие вещества являлись одним из предметов русского ввоза с Востока в XI—XIII вв. Темнофиолетовая бусина (№ 25) окрашена окисью марганца (1,96%), залежи которого разрабатывались на нижнем Днепре.



Сравнение анализов трех бус — светложелтой, голубовато-зеленой темнофиолетовой, сходных по содержанию в них кремнезема и особенно окиси свинца и окиси калия, заставляет предполагать их происхождения из одного производственного центра.

Белорусский политехнический институт  
им. И. В. Сталина  
Минск  
Государственный исторический музей  
Москва

Поступило  
11 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. А. Рыбаков, Ремесло древней Руси, М., 1948, стр. 397—400.  
<sup>2</sup> М. А. Безбородов, ДАН, 74, № 4, 789 (1950). <sup>3</sup> В. В. Хвойко, Древние обитатели Среднего Приднепровья, Киев, 1913. <sup>4</sup> М. Ф. Фехнер, Краткие сообщения Инст. истории материальной культуры, в. 47, 101 (1952). <sup>5</sup> В. К. Гончаров, Вестн. АН УССР, № 6, 58 (1950). <sup>6</sup> В. К. Гончаров, Райковецкое городище, Киев, 1950, стр. 129—131. <sup>7</sup> Б. А. Рыбаков, Ремесло древней Руси, 1948, стр. 398. <sup>8</sup> Б. А. Рыбаков, История культуры древней Руси, I, гл. II, Ремесло, М.—Л., 1948, стр. 154—155. <sup>9</sup> М. А. Безбородов, В. В. Лапин, ДАН, 92, № 2, 389 (1953). <sup>10</sup> М. А. Безбородов, Камни и свилы в стекле, М., 1953, стр. 154—156. <sup>11</sup> Е. В. Цинзерлинг, Изв. Инст. археолог. технологии, в. 1, П., 1922, стр. 177—190. <sup>12</sup> Д. С. Белянкин, Н. А. Торопов, В. В. Лапин, Физико-химические системы силикатной технологии, М., 1949, стр. 167—169. <sup>13</sup> П. М. Лукьянов, Усп. хим., 16, в. 5, 6, 6 (1947). <sup>14</sup> П. М. Лукьянов, История химических промыслов и химической промышленности России до конца XIX века, 2, М.—Л., 1949, стр. 5, 7. <sup>15</sup> П. М. Лукьянов, там же, I, М.—Л., 1948, стр. 32—33.



# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

## Член-корреспондент АН СССР П. П. БУДНИКОВ и С. Г. ТРЕСВЯТСКИЙ ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ НА СПЕКАЕМОСТЬ ОКИСИ ХРОМА

Оксид хрома имеет температуру плавления  $2110^{\circ}$  <sup>(1)</sup> и принадлежит высокоогнеупорным окислам. Отличительной особенностью изделий из окиси хрома является их высокая электропроводность, значительно превосходящая электропроводность изделий из окислов алюминия, бериллия, магния, циркония и др. Удельное электросопротивление изделий из окиси хрома при  $800^{\circ}$  составляет только 5—10 ом·см <sup>(2)</sup> и при  $1500^{\circ}$  0,5—1 ом·см <sup>(3)</sup>. Однако вследствие плохого спекания окиси хрома изготовление из нее прочных и плотных изделий затруднительно <sup>(3, 4)</sup>.

Наши исследования показали, что плохое спекание окиси хрома наблюдается при ее обжиге в окислительной среде. Если же обжигать изделия из окиси хрома без кислорода, например в среде нейтрального азотного газа, азота или аргона или же в вакууме, то окись хрома хорошо спекается, образуя плотный кристаллический материал. В табл. 1 приводятся полученные нами данные по спеканию чистой окиси хрома в различных условиях обжига.

Химический анализ и рентгенографическое исследование образцов показали, что содержание хрома и кристаллическая решетка образцов, обожженных в различных условиях, одинаковы. Эти данные указывают, что при обжиге окиси хрома в нейтральной газовой среде не происходит восстановления до низших окислов, и окись хрома сохраняется как таковая в виде  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Однако при обработке водных измельченных образцов окиси хрома, обожженных на воздухе, было отмечено окрашивание водной вытяжки в желтый цвет, что вызывается на присутствие ионов шестивалентного хрома. Подобного явления не наблюдалось при обработке измельченных образцов, обожженных в вакууме или в среде нейтрального газа.

На основании этих наблюдений можно предположить, что причиной плохого спекания изделий из окиси хрома в окислительной среде является частичное поверхностное окисление окиси хрома с образованием ионов шестивалентного хрома. При обжиге в нейтральной газовой среде окисление окиси хрома не происходит и ее спекание протекает нормально.

Таблица 1

Влияние газовой среды при обжиге на спекание чистой окиси хрома

Условия обжига	Т-ра обжига в °		
	1400	1500	1600
Истинная пористость в %			
1. Обжиг в окислительной среде и пламенных печах . . . . .	49,36	48,96	39,83
2. Обжиг в вакуумной печи при остаточном давлении 1—3 мм рт. ст.	46,38	13,61	11,46
3. Обжиг в среде нейтрального газа (азот) . . . .	45,89	16,61	10,50

То обстоятельство, что химический анализ не показывает значительных отклонений от стехиометрического состава, рентгенографическое определение не дает новых фаз, не противоречит предположению, так и окисление происходит только с поверхности, содержание высшей окисной степени невелико и лежит за пределами чувствительности указанных методов.

При обжиге в нейтральной газовой среде образцов, изготовленных из порошка окиси хрома, прокаленного предварительно при температуре 800—1000° на воздухе, наблюдается значительная усадка (15—20%), растрескивание и искривление изделий. Поэтому целесообразно некоторую часть окиси хрома (50—70 вес.%) предварительно обжигать, измельчать, смешивать с необожженной или низкообоженной окисью хрома и из этой смеси изготовлять изделия. Усадка при обжиге в этом случае составляет 5—7% и деформации изделий не наблюдается. Предварительный обжиг части окиси хрома нами производился при температуре 1500—1600° и окончательный обжиг изделий при 1600—1700°. Как предварительный, так и окончательный обжиг изделий производился в нейтральной газовой среде.

Изготовленные нами по описанной технологии плотные и прочные изделия из шихты состава: 50% окиси хрома, обожженной при температуре 1550° в газовой среде (азот), и 50% окиси хрома, обожженной в порошке при 800° на воздухе, имели следующие свойства. Усадка при обжиге изделий (обжиг в нейтральной газовой среде) 5—6%, объемный вес 4,27 г/см<sup>3</sup>, пористость 15,5% (при обычной технологии и обжиге изделий на воздухе пористость 35—40% и выше). Предел прочности при сжатии около 100 кг/см<sup>2</sup> (при обычной технологии изготовления изделий предел прочности при сжатии около 90 кг/см<sup>2</sup>). Средний коэффициент линейного расширения (при температурах 20—800°) 6,2—6,4 · 10<sup>-6</sup>.

Плотные и прочные высокоогнеупорные изделия из чистой окиси хрома можно применять: 1) в качестве футеровочных материалов для печей и в виде тиглей для плавления различных сплавов металлов, содержащих хром; очевидно, что при этом не будет происходить загрязнения сплава примесями; 2) в качестве неокисляющихся нагревательных элементов «оксидных» печах сопротивления<sup>(5)</sup>; 3) в качестве термосопротивлений пригодных для работы при высоких температурах.

Поступило  
8 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Ф. Смачная, П. Я. Сальдау, Зап. Ленинград. горн. инст., 24, (1950). <sup>2</sup> С. Г. Тресвятский, Огнеупоры, № 2, 68 (1951). <sup>3</sup> J. R. Hensley, E. C. Henry, J. Am. Ceram. Soc., 36, № 3 (1953). <sup>4</sup> П. С. Мамыкин, С. Г. Златкин, Огнеупоры, № 2, 990 (1958). <sup>5</sup> W. H. Davenport, S. S. Kistler, W. M. Wheldon, O. J. Whittemore, J. Am. Ceram. Soc., 33, No. 11, 323 (1950).

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

П. М. ШУРЫГИН и О. А. ЕСИН

### О РАСТВОРИМОСТИ ЖЕЛЕЗА В ЖИДКИХ ШЛАКАХ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 8 II 1954)

При исследовании свойств жидких шлаков авторы столкнулись со следующим явлением: капля золота, помещенная на магнезитовую подкладку, находящуюся на дне железного тигля, наполненного расплавом  $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , сильно обогащалась металлическим железом. По прошествии 12 мин. образовывался сплав  $\text{Au} - \text{Fe}$ , содержащий более 60%  $\text{Fe}$ .

Оказалось далее, что переход железа в золото имеет место и в тиглях из плавленной магнезии. Однако в этом случае быстро достигается предельная концентрация  $\text{Fe}$ , величина которой сравнительно мала ( $\approx 2\%$ ). Рис. 1 иллюстрирует сказанное; на нем изображены данные, полученные для шлака, близкого по составу к  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ . При температуре  $1250^\circ$  в четыре отделения магнезимального тигля опускались через известные промежутки времени кусочки золота; после охлаждения тигля они извлекались, отмывались в соляной кислоте, взвешивались и анализировались.

Подобный же переход железа из расплавленного  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  происходит и в жидкую медь. Так, в магнезимальном тигле при  $1300^\circ$  через 15 мин. в меди оказалось около 0,6%  $\text{Fe}$ . Напротив, в железном тигле за меньшее время (5 мин.) из шлака, содержащего  $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , в медь перешло в 10 раз большее количество железа (6,5%  $\text{Fe}$ ).

Причиной наблюдаемого явления вряд ли является распад  $\text{FeO}$  на  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{Fe}$  при температурах ниже  $572^\circ$ . Дело в том, что тигель охлаждался в печи лишь до  $700^\circ$ , а затем быстро закаливался в струе воды. Кроме того, такое предположение не в состоянии объяснить резкое различие концентраций железа в золоте в случае железных и магнезимальных тиглей.

Существенно отметить, что источником железа может служить расплавленный шлак. Об этом свидетельствуют опыты с расплавом  $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , который ни в процессе приготовления, ни в условиях опыта не находился в контакте с металлическим железом. Несмотря на это, капля золота, помещенная в такой шлак, обогащалась железом примерно в тех же размерах.

Таким образом, следует признать, что в жидких шлаках присутствует железо. В главной своей массе оно вряд ли находится в коллоидальном состоянии. В этом случае вторая и третья капли золота должны были бы содержать заметно меньшие концентрации железа, однако из опытов следует обратное. По всей видимости, железо образует с жидким шлаком

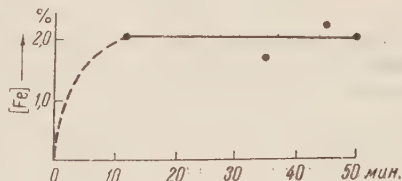
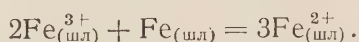


Рис. 1. Насыщение золота железом из расплавленного  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  в магнезимальных тиглях

истинный раствор. Это обстоятельство совершенно аналогично давно известному явлению металлического тумана в расплавленных солях (1). Здесь ультрамикроскопические наблюдения (2), а также измерения электродвижущих сил (3, 4) указывают на истинную растворимость металлов в расплавах.

Нужно думать, что в железистых шлаках имеет место гомогенное равновесие:



Оно является следствием непрерывного обмена электронами между атомным железом и ионами  $\text{Fe}^{3+}$ , а также между катионами  $\text{Fe}^{2+}$ . Его не обнаруживали до сих пор, вероятно, потому, что в присутствии металлического железа оно переходит в широко известное гетерогенное равновесие:



Концентрация атомного железа, распространенного в шлаке, определяется, очевидно, константой равновесия

$$K = \frac{a_{\text{Fe}^{3+}}^3}{a_{\text{Fe}^{2+}}^2 a_{\text{Fe}}},$$

а переход его в золото или в медь регулируется законом распределения

$$L = \frac{[a_{\text{Fe}}]}{(a_{\text{Fe}})}.$$

Отсюда

$$[a_{\text{Fe}}] = KL \frac{(a_{\text{Fe}^{2+}})^3}{(a_{\text{Fe}^{3+}})^3}$$

или в первом приближении

$$[\% \text{Fe}] = K' \frac{(\% \text{Fe}^{2+})^3}{(\% \text{Fe}^{3+})^3} = K' B.$$

Иными словами, при заданной температуре концентрация железа в золоте должна падать с ростом окисленности расплава, точнее, возрастать вместе с отношением  $B$ .

Таблица 1

Зависимость между процентом Fe и Au и окисленностью шлаков

Состав шлака в вес. %						$B$	[% Fe]
CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>		
—	2,3	39,6	18,4	10,6	17,55	48	следы
29,6	0,4	29,8	—	7,97	20,8	141	1,04
19,4	1,6	32,32	—	8,15	25,5	248	1,04
—	—	—	—	23,7	52,6	260	2,9
15,1	1,31	17,64	—	12,3	34,6	276	4,26
10,59	1,2	34,1	—	9,54	31,9	363	4,26
—	—	7,8	—	15,6	53,9	647	7,6
—	—	—	—	7,04	71,96	7560	8,5

Опыты подтверждают сказанное. В табл. 1 приведены результаты, полученные для различных шлаков. Параллелизм между содержанием железа в золоте и величиной  $B$  иллюстрирует рис. 2. Разброс точек обусловлен ошибками измерений и применением идеального закона действующих масс.



Данные табл. 1 относятся к магниальным тиглям. Здесь процесс распределения атомного железа между шлаком и золотом сравнительно быстро достигает равновесного состояния. Напротив, в железных тиглях он должен протекать до тех пор, пока активность Fe, растворенного в Au, не станет равной активности металлического железа\*.

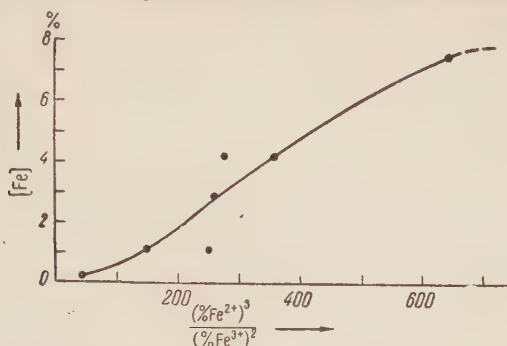


Рис. 2. Зависимость равновесного содержания железа в золоте от окисленности железистых шлаков. Параллелизм между  $[Fe]$  и  $\frac{(\%Fe^{2+})^3}{(\%Fe^{3+})^2}$

К сожалению, коэффициент распределения Fe между шлаком и золотом неизвестен. Поэтому концентрация растворенного в шлаке железа не может быть оценена.

В заключение заметим, что во время опытов наблюдалось частичное растворение золота в сплавах. Оно оказалось тем больше, чем меньше окисленность шлака (т. е. отношение  $\% Fe_2O_3$  к  $\% FeO$ ). Это обстоятельство говорит против ферритной гипотезы<sup>(5)</sup>. Сравнительно малая вязкость наших расплавов исключает и механические потери<sup>(6)</sup>. Измерения межфазных натяжений на границах золото — воздух (1180 эрг/см<sup>2</sup>), Au —  $Fe_2SiO_4$  (805 эрг/см<sup>2</sup>) и сплава золота с железом (3% Fe) —  $Fe_2SiO_4$  (720 эрг/см<sup>2</sup>), проведенные совместно с Ю. П. Никитиным при 1300° методом рентгеноъемки лежащей капли<sup>(7,8)</sup>, едва ли свидетельствуют о только коллоидном растворе Au в шлаке. Возможно, что золото растворяется в железистых шлаках в атомной форме. Об этом говорит, повидимому, повышение его концентрации с ростом содержания атомного железа в шлаке.

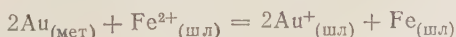
Уральский политехнический институт  
им. С. М. Кирова  
Свердловск

Поступило  
8 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> П. Ф. Антипин и др., Электрохимия расплавленных солей, Л. — М., 1937.  
<sup>2</sup> W. Eitel, B. Lange, Zs. anorg. allg. Chem., **171**, 168 (1926); **178**, 108 (1929).  
<sup>3</sup> С. Карпачев, А. Стромберг, ЖФХ, **3**, 397 (1939). <sup>4</sup> С. Карпачев, Е. Иордан, ЖФХ **11**, 1495 (1940). <sup>5</sup> J. Westerman, Metal u. Erz, **31**, 29 (1934).  
<sup>6</sup> И. Н. Плаксин, Опробирование и пробирный анализ, 1947. <sup>7</sup> С. И. Попель, О. А. Есин, П. В. Гельд, ДАН, **74**, 1097 (1950). <sup>8</sup> О. А. Есин, Ю. П. Никитин, С. И. Попель, ДАН, **83**, 431 (1952).

\* Эти факты, указывают, что процесс



не является основной причиной растворения железа в шлаке и в золоте.



О. И. ДЖАНЕЛИДЗЕ

## О ФОРАМИНИФЕРАХ НИЖНЕГО МИОЦЕНА ГРУЗИИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 9 II 1954)

Вопрос о взаимоотношениях нижних горизонтов миоцена Грузии (древнее чокрака) до настоящего времени не может считаться достаточно освещенным. Решение этого вопроса затрудняется отсутствием разреза, где были бы представлены все три горизонта дочокракских миоценовых отложений: сакараульский, коцахурский и тарханский. Недавно автором на основе изучения разреза близ с. Джгали (Мегрелия, Западная Грузия) установлено стратиграфическое положение тарханского горизонта между чокракскими и онкофоровыми слоями <sup>(4)</sup>.

Поскольку в некоторых местах Грузии майкопские отложения без видимого перерыва перекрываются отложениями различных горизонтов — сакараульского, коцахурского и тарханского, можно, казалось бы, думать, что все эти три горизонта одновозрастны, а различие состава фауны вызвано лишь фациальным характером осадков и локальными условиями осадконакопления. Высказывалось, например, предположение, что отложения сакараульского и коцахурского горизонтов районов Гори-Каспи представляют прибрежные фации тарханского горизонта, а собственно тарханские слои, залегающие над майкопской свитой в районе Норю и других мест, — глубоководную фацию того же горизонта.

Как известно, сакараульский и коцахурский горизонты впервые были выделены в 1933 г. Л. Ш. Давиташвили и датированы: первый — нижним миоценом (аналог бурдигальского яруса), а второй — нижней частью среднего миоцена (аналог гельветского яруса). Последующие исследователи на основании детального изучения фауны сакараульского горизонта, а также слоев с *Pectunculus* с. Квезани подтвердили нижнемиоценовый возраст этих отложений <sup>(7, 9)</sup>.

Впоследствии онкофоровые слои были выделены в Абхазии С. И. Ильиным под названием «бармышской свиты» <sup>(6)</sup> и в Зап. Грузии у с. Джгали — М. Ф. Дзвеляя <sup>(4)</sup>. В обоих местах онкофоровые слои залегают на глинисто-песчанистой фации майкопских слоев и перекрываются у с. Джгали тарханскими слоями, а в Абхазии — чокраком.

В последние два года нами была изучена микрофауна отложений сакараульского, коцахурского и тарханского горизонтов со всех известных нам мест их распространения на территории Грузии. Изучение довольно большого материала выяснило, что песчанистые отложения сакараульского и коцахурского горизонтов районов Гори-Каспи и с. Джгали микрофауны не содержат. Что же касается отложений нижнего миоцена с. Квезани и соответствующих им (по стратиграфическому положению) и коцахурскому горизонту отложений, развитых между Афони и Бзыби, то в них обнаружена довольно богатая фауна фораминифер, представленная в основном донными формами, состоящая из булиминид, лагенид, нонионид, роталиид и аномалинид.

Наиболее характерны следующие виды: *Uvigerinella californica* Cush. *Uv. californica* Cush. var. *ornata* Cush., *Bolivina* aff. *punctata* (d'Orb.) *B. aff. floridana* (Cush.), *Bulimina coprolithoides* Andrea, *B. aff. elongata* (d'Orb.), *Virgulina miocenica* nov. sp., *Neobulimina* sp., *Nonion roemer* (Cush.) var. *sakaraulensis* var. nov., *N. polymorphus* Bogd., *N. hexacameratus* nov. sp., *Elphidium mariae* nov. sp., *Lagena vulgaris* Will., *L. thathoai* nov. sp., *Entosolenia ovulum* S. et Ch., *Cibicides parvus* Bogd. и др.

Кроме фораминифер, встречаются иглы морских ежей, спикулы губок и остракоды. Помимо перечисленных форм, встречаются также фораминиферы, находящиеся во вторичном залегании, и своеобразные микроскопические бобовидные кремнистые остатки неизвестного происхождения встречающиеся в изобилии совместно с фораминиферами.

Разнообразие комплекса фораминифер в нижнемиоценовых отложениях Абхазии с преобладанием в них относительно глубоководных стеногалинных форм, как *Bolivina*, *Bulimina*, *Uvigerinella*, *Lagena*, и появлением наряду с этими формами мелководных эвригалинных представителей родов *Nonion*, *Elphidium*, *Cibicides* и *Rotalia* дают основание предполагать, что осадкообразование происходило в относительно глубоководной части неритовой зоны бассейна. Наличие остатков морских ежей и состав макрофауны отложений с Квезани подтверждают нормальную соленость воды бассейна.

Исследование стратиграфического распространения отдельных форм нижнемиоценовых фораминифер выяснило, что некоторые формы, как *Bulimina coprolithoides*, *Lagena vulgaris*, *Nonion granosus*, *Cibicides parvus*, *Neobulimina* sp., начинают свое существование с олигоцена (<sup>1, 10, 11</sup>). Из всей ассоциации фауны фораминифер в вышележащие горизонты миоцена — тархан и чокрак — переходят следующие формы: *Nonion granosus*, *Entosolenia ovulum*, *Bolivina* aff. *floridana*, *Bulimina elongata* (<sup>1</sup>).

Остальные же формы вместе с новыми видами характерны для нижнемиоценовых отложений Абхазии, что дает возможность отграничивать этот горизонт по фауне фораминифер от вышележащих отложений миоцена.

Сходную ассоциацию фораминифер, по данным Ф. П. Пантелеева, содержат отложения, залегающие под онкофоровыми слоями южных Ергеней (<sup>8</sup>).

Фауна фораминифер тарханского горизонта резко отличается от фауны нижнего миоцена. Тарханские слои охарактеризованы следующими формами: *Textularia tarchanensis* Bogd., *Miliolina* aff. *boueana* (d'Orb.) *M. selene* (Karrer), *Sigmoilina mediterraneensis* Bogd., *S. aff. tenuis* (Czjzek), *Lagena vulgaris* (Will.), *Nodosaria* sp. sp., *Entosolenia ovulum* Subb. et Chutz., *Nonion boueanus* (d'Orb.), *N. granosus* (d'Orb.), *Bolivina tarchanensis* Subb. et Chutz., *B. aff. floridana* (Cush.), *Virgulina tarchanensis* Bogd., *Angulogerina angulosa* Will., *Bulimina* aff. *elongata* (d'Orb.), *Rotalia beccarii* Linné, *Discorbis* sp., *Globigerina tarchanensis* Subb. et Chutz., *Cibicides lobatulus* (W. et J.). Кроме фораминифер, встречаются иглы морских ежей, зоари, мшанок, отолиты рыб, остракоды и спириалисы.

Своеобразной чертой тарханских фораминифер, в отличие от фауны фораминифер нижнего миоцена, является присутствие представителей семейств милиolid и глобигерид; последние иногда встречаются целыми скоплениями.

Несмотря на то, что в обоих горизонтах встречаются представители (за исключением милиolid и глобигерид) одних и тех же семейств, видовой состав их фауны резко различен, чем и подтверждается самостоятельность этих горизонтов.

Различия фауны фораминифер тарханского и сакараульского горизонтов не могут быть объяснены только фациальными особенностями отложений, а зависят от стратиграфического положения того и другого.



До настоящего времени некоторые исследователи склонялись к мысли, что сакараульский горизонт может быть эквивалентом тарханского горизонта — относительно мелководной фацией этого последнего. Изучение фауны фораминифер показало, что подозрения такого рода лишены всяких оснований: сакараульский и тарханский горизонты представляют собой разновозрастные отложения полносоленого моря, и первый из них, несомненно, древнее второго. Установление этого факта, по нашему мнению, имеет немаловажное значение для понимания геологической истории Черноморско-Каспийской зоны и развития морских фаун этой зоны в течение миоцена.

Сектор палеобиологии  
Академии наук Груз.ССР

Поступило  
3 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. К. Богданович, Тр. ВНИГРИ, Микрофауна СССР, сборн. 4 (1950).  
<sup>2</sup> И. В. Венглинский, Тр. Львовск. геол. общ., 2 (1953). <sup>3</sup> Л. Ш. Давиташвили, Инф. сборн. НГРИ, № 3 (1934). <sup>4</sup> М. Ф. Дзвела, ДАН, 66, № 5, 913 (1949).  
<sup>5</sup> О. И. Джанелидзе, Тр. Инст. геол. и мин. АН Груз.ССР (1951).  
<sup>6</sup> Б. П. Жижченко, Стратиграфия СССР, 1940. <sup>7</sup> С. И. Ильин, Аз. нефть, 1947, № 10—11 (1935). <sup>8</sup> И. А. Коробков, ДАН, 21, № 2 (1939). <sup>9</sup> Ф. П. Пантелеев, Геологическое строение и газоносность южных Ергеней, 1947. <sup>10</sup> Г. Д. Хавташвили, Фауна сакараульского горизонта и ее возраст, 1952. <sup>11</sup> J. Cushman, *Cush. Lab. Foram. Res., spec. publ., No 9* (1937). <sup>12</sup> J. Cushman, *U. S. Department of the Interior, Geolog. Surv. Prof., 191* (1939).



Б. П. КРотов

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ВОПРОСУ О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ  
ОБРАЗОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 6 II 1954)

В более ранних работах (<sup>1-3</sup>) я уж отметил, что месторождения оолитовых железных руд и бокситов возникают во время морских трансгрессий на суши, покрытые остаточной корой выветривания, сложенной из свободных гидратов окиси железа, марганца, алюминия.

Эти месторождения в условиях влажного климата образуются вдоль берегов суши в виде зон среди песчаной фации и по мере распространения трансгрессии уходят под покров морских осадков. Более крупные накопления оолитовых железных руд и бокситов наблюдаются у границ конечного распространения трансгрессий на потопляемую сушу, сложенную обогащенными Fe, Al, Mn породами. Недостаточно твердо установленной ставалась последовательность выноса из коры выветривания Fe и Al, обуславливающая расстояния мест их локализации относительно берега бывшего моря и относительно друг друга. В настоящее время вопрос этот разъясняется благодаря данным Ю. К. Горецкого (<sup>6</sup>) и вследствие личного сообщения А. К. Гладковского о положении бокситоносного горизонта среди пачки девонских отложений.

В среднем девоне в живетское время на западном склоне Урала произошла морская трансгрессия, распространявшаяся с востока на запад на сушу, находившуюся на территории Европейской части СССР. Морская трансгрессия сопровождалась неоднократными остановками и временными небольшими регрессиями моря. На это указывает ясно следующий подинный разрез пашийской свиты (D<sup>1a</sup>), составленный А. К. Гладковским (сверху вниз):

1. Нижнефранские серые и темносерые слоистые известняки.
2. Глинистые и углистые сланцы, песчаники.
3. Горизонт вторичных переотложенных оолитовых гематитовых руд.

Перерыв

- |                                    |   |   |
|------------------------------------|---|---|
| 4. Песчаники                       | { | а) Черные мелко-оолитовые сидерито-шамозитовые руды |
| 5. Горизонт первичных железных руд |   | б) Красные мелко-оолитовые гематитовые руды         |
| 6. Песчаники                       |   |   |

Перерыв

7. Бокситоносный горизонт: бокситы, крупно-оолитовые диаспор-шамозитовые диаспор-гематитовые руды, флинт-клей.

Перерыв

8. Живетские темносерые слоистые известняки.

Морская трансгрессия с востока проявилась на среднем Урале еще в живетскую эпоху. Здесь в Чусовском районе в верхней части живетских

отложений, в горизонте  $D_2^C$  имеется прослой железистых песчаников редкими оолитами лептохлорита. Колебания береговой линии продолжались и в конце живетского века, который закончился регрессией и осушением страны.

Более сильное развитие оолитовых лептохлоритовых руд этого времени наблюдается в западной части Башкирии и в восточной части Татарии, где они описаны Л. М. Миропольским и его сотр. (4, 5).

Начало нижнефранского века сопровождалось новой трансгрессией, когда вдоль берега суши отложились бокситоносные осадки нижних горизонтов пашийской свиты ( $D_3^{1-1}$ ), сложенной бокситами, диаспоридами, шамозитовыми и диаспор-гематитовыми рудами. После кратковременной регрессии море вновь трансгрессировало и на размытой поверхности бокситового горизонта отложились пески с прослоем мелко-оолитовых сидерито-шамозитовых и гематитовых руд.

После кратковременной регрессии и осушения страны трансгрессия возобновилась. Она сопровождалась размывом пластов оолитовых железных руд и переотложением их обломков в виде вторичных оолитовых гематитовых конгломератовых руд, перекрытых сериями глинистых сланцев и известняков, указывающих на дальнейшее развитие трансгрессии в течение конца пашийского и всего серпеевского века.

Сопоставление приведенных данных позволяет восстановить ход процесса выноса алюминия и железа из коры выветривания и сделать следующие выводы: 1) вынос железа в небольшом количестве произошел еще в течение живетского времени, затем в начале нижнефранского века был вынесена главная масса глинозема, а позднее, после континентальной перерыва, мигрировала главная масса железа; 2) бокситы и оолитовые железные руды отложились в том же заливе, но только оолитовые руды локализовались западнее и образовали полосу ближе к берегу залива того времени; 3) условия залегания красных оолитовых руд в основании горизонта оолитовых железных руд позволяют объяснить присутствие свободных гидратов глинозема в них продолжавшимся еще выносом глинозема из коры выветривания на суше.

После выноса остатков имевшегося в коре свободного глинозема раствор переходило только железо, выделившееся в виде пласта оолитовых гематито-шамозитовых и сидерито-шамозитовых руд. В таком случае имеются все основания для признания глинозема за первый продукт выщелачивания из железистой коры выветривания. В согласии с этим находится и локализация бокситов в заливе.

В последующие века среднего девона морская трансгрессия распространялась постепенно далее на запад, и на западном склоне Урала отлагались известняки. Только в районе между Златоустом и Катав-Ивановским заводом и восточнее в верхнефранское время была суши или обширный остров с заливами, в которых отлагались бокситы и оолитовые железные руды, входившие в состав орловской свиты. Эта свита на участке пос. Новая пристань — д. Терменева сложена исключительно бокситами, покрывающимися известняками; на участке Мурсалимкино — Вязовая она образована из диаспор-шамозито-гематитовых оолитовых руд, которые далее на юго-запад замещаются известняками.

Такие условия залегания указывают на продолжение развития трансгрессии и на постепенное затопление оставшейся суши или острова. Место положения бокситов показывает, что у северо-западного берега этой суши или острова имелся залив, находившийся между верховьями рр. Ая и Юрюзани. В нем параллельно берегу тянулся пласт бокситов мелкособового строения.

К юго-западу от полосы бокситов между ст. Мурсалимкино и Вязовая расположены полосой месторождения диаспор-шамозито-гематитовых оолитовых руд. Эти руды сверху то прямо перекрываются известняками



между ними имеется прослой «сиаллитов». Иногда на неровно размытой поверхности диаспор-шамозитовых руд лежат слои песчаников и танцев с гальками диаспор-шамозитовых руд.

В диаспор-шамозитовых рудах глинозем всегда господствует над окисью и закисью железа. По условиям залегания, судя по описаниям, нет основания разделять их образование по времени от образования оксидов. Железо и глинозем в данном случае переходили в раствор из коры выветривания одновременно, хотя и в разном количестве.

В своей работе о дифференциации элементов при выветривании <sup>(2)</sup> при разборе вопроса о последовательности выноса различных элементов из остаточной коры указал на более ранний вынос железа по сравнению с глиноземом. При этом я базировался на обогащении глиноземом верхних горизонтов оолитовых железных руд Халилова и Малки. Однако в Халилове свободные гидраты глинозема появляются только за счет разложения лептохлоритов в верхних горизонтах рудной пачки. В месторождениях же пашийского района гидраты глинозема и гидроокислы железа образуют самостоятельные месторождения в морском заливе на разном расстоянии от берега и по условиям залегания гидроокислы железа выделялись, несомненно, позже бокситов и ближе к потопляемой суше.

Таким образом, приведенные перечисленными лицами факты указывают на более поздний вынос главной массы железа из коры выветривания по сравнению с алюминием.

Поступило  
4 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Б. П. Кротов, ДАН, **65**, № 1 (1949). <sup>2</sup> Б. П. Кротов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1953). <sup>3</sup> Б. П. Кротов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1953), Л. М. Миропольский и др., ДАН, **66**, № 1 (1949). <sup>4</sup> Л. М. Миропольский и др., Изв. Каз. фил. АН СССР, в. 1 (1950). <sup>5</sup> Ю. К. Горецкий, Тр. ИМС'а, в. 1 (1949).



В. Т. МОРДОВСКИЙ и В. И. ДИТМАР

## К ВОПРОСУ О СТРАТИГРАФИИ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РЫБИНСКОЙ ВПАДИНЫ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)

(Представлено академиком С. И. Мироновым 15 II 1954)

Рыбинская палеозойская впадина с юга, юго-востока и юго-запада ограничена предгорьями Восточного Саяна, с северо-запада — Енисейским кряжем и с севера — Саяно-Енисейским мостом<sup>(3)</sup>. В центральной части Рыбинской впадины на дневную поверхность выходят отложения юры и нижней перми, а на бортах — слои девона. На рассмотрении стратиграфии последних мы и остановимся.

Впервые Э. Гофманом (1844) к девону были отнесены известняки, обнимающиеся у станции Балай, которые он параллелизовал с красноцветными отложениями, развитыми в районе г. Красноярска, и выделил под названием качинской свиты. В последующие годы время формирования красноцветных отложений, выполняющих Рыбинскую впадину, разными исследователями датировалось по-разному — от девона до кембрия включительно.

Так, В. Златковский (1885), К. И. Богданович (1894)<sup>(1)</sup> и А. С. Хоментовский (1934, 1938) относили эти отложения к девону; И. Д. Черский (1887), М. К. Коровин (1932)<sup>(2)</sup> и В. А. Обручев (1935) — к нижнему отделу силура. М. М. Одинцов и П. П. Скабичевский (1937) эти же отложения относили к кембрию.

Слишком общий региональный характер исследований не позволил упомянутым геологам точно датировать возраст пестроцветных отложений Рыбинской впадины и выделить в этой толще палеонтологически охарактеризованные стратиграфические горизонты.

А. С. Хоментовским (1947)<sup>(7)</sup> в этих породах в ряде пунктов были найдены остатки рыб, позволившие ему установить верхнедевонский возраст пестроцветных отложений Рыбинской впадины\*.

В последние годы геологами ряда промышленных организаций были предложены для отдельных частей Рыбинской впадины стратиграфические схемы подразделения отложений девона на свиты, которые зачастую трудно сопоставимы между собой и также фаунистически не были охарактеризованы.

В результате проведенных в 1952—1953 гг. геологических исследований, с использованием материалов геологов треста «Востсибнефтегеология», нами выработана приводимая ниже стратиграфическая схема подразделения девонских отложений Рыбинской впадины и на основании собранной фауны и флоры установлен возраст этих пород. В целом в разрезе девонских отложений Рыбинской впадины выделяются стратиграфически снизу вверх следующие свиты: 1) ассафьевско-привольнинская, 2) ивашихинская и 3) качинская.

\* Поэтому позднейшие утверждения о том, что пестроцветные отложения, развитые по р. Кану, в окрестностях г. Канска, относятся к нижнему силуру<sup>(6)</sup>, следует признать необоснованными.

1. Ассафьевско-привольнинская свита. Отложения этой свиты пользуются широким развитием в южной части Рыбинской впадины и прослеживаются от правобережья р. Кан на востоке до бассейна рр. Маны и Базаихи на западе, слагая Ассафьевско-Привольнинский массив (5).

Слои ассафьевско-привольнинской свиты в разных районах впадины залегают или на кварцитах и доломитах верхнего протерозоя (с. Ассафьевка) или же на породах выделенной нами нарвской свиты верхнего кембрия (р. Мана), представленной конгломератами и песчаниками.

В основании ассафьевско-привольнинской свиты залегают конгломераты, состоящие из плохо окатанных глыб (до 0,6 м) песчаников и редко конгломератов нижележащей нарвской свиты. В составе конгломератов этой свиты на р. Рыбной (с. Ассафьевка) преобладающей породой являются гнейсы. Мощность базального конгломерата в правобережной части р. Маны составляет около 100 м, а у с. Ассафьевки — 70 м. Выше по разрезу конгломераты постепенно переходят в толщу песчаников фиолетово-красных с серым оттенком, грубозернистых, в основном кварцево-полевошпатового состава. Мощность песчаной толщи в районе р. Маны составляет 150—200 м, а на р. Рыбной 70 м.

По мере удаления от краевых зон Рыбинской впадины в сторону внутренней ее части на дневную поверхность выходят все более молодые отложения ассафьевско-привольнинской свиты. Верхняя ее часть хорошо обнажена на р. Кан (сс. Пены, Шамы, Привольное) у сс. Орловки, Шалинское и в других пунктах и представлена чередованием зеленовато-серых алевролитов и темносерых коричневатого-серых аргиллитов. Максимальная мощность отложений ассафьевско-привольнинской свиты составляет 600—800 м и приурочивается к южной и юго-западным частям впадины.

В породах этой свиты вблизи с. Орловки нами найдена следующая флора: *Psilophyton princeps* D., *Ps. Goldschmidtii* H., *Dawsonites arcuatus* H., *Pachythesa* sp.; кроме того, у с. Шалинского найден еще *Psilophyton elegans* D. (определение Е. Ф. Чирковой-Залесской).

В северо-западной краевой части Рыбинской впадины (с. Торгашино) среди растительных остатков, собранных А. Н. Сачуком из аналогов слоев ассафьевско-привольнинской свиты, А. И. Криштофовичем установлены следующие формы: *Taeniocrada decheniana* (Goepp.) K. et W., *T. langii* Stock., *Drepanophycus spinaeformis* Goepp., *Psilophyton Goldschmidtii* Halle и др.

Слои ассафьевско-привольнинской свиты, относимые нами к нижнему девону, можно сопоставить с отложениями чиланской и имекской свит Минусинской впадины, где С. М. Дорошко и Е. Ф. Чирковой-Залесской были найдены, кроме *Psilophyton Goldschmidtii* Halle и *Ps. princeps* D., еще и *Arthrostigma gracile* D., *Tomiphyton primaevum* Zal., *Taeniocrada decheniana* Goepp., *Drepanophycus* (*Arthrostigma*) *dentatus* Tschirkowa n. sp., *Dicranophyton primaevum* Tschirkowa n. sp., характерные для отложений нижнего девона (8).

2. Ивашихинская свита. Отложения этой свиты наиболее широким распространением пользуются в пределах юго-западной и западной частей впадины, где прекрасная обнаженность их приурочена к бассейнам рр. Игиля, Кана, Кирели, Анжи, Березовки и др. В нижней части эта свита представлена песчаниками малиново-красными, мелкозернистыми, часто косослоистыми, состоящими, главным образом, из хорошо окатанных зерен кварца (районы сс. Арбая, Вознесенки, Кулакова и др.). В верхней части разреза свиты среди малиново-красных песчаников появляются прослои песчаников светлосерых разностей и известняков с включением халцедона сургучного цвета. В районах сс. Агинское и Вознесенское в ивашихинской свите встречен внутриформационный конгломерат, состоящий из плохо окатанных обломков



гнейсов, гранитов, пегматитов, кварцитов и доломитов докембрийского возраста.

В крайних северо-западной (р. Березовка) и юго-восточной (р. Игиль) окраинных зонах впадины в нижней части разреза свиты наблюдается переслаивание эффузивных и нормально осадочных кварцево-полевошпатовых малиново-красных песчаников. Максимальная мощность ивашихинской свиты составляет около 1200 м и приурочивается к юго-западной части впадины.

Вблизи кровли отложений этой свиты у с. Партизанского нами найдены остатки *Psilophyton* sp., *Dicranophyton* sp. В аналогах слоев ивашихинской свиты И. К. Баженовым и М. П. Нагорским в 1936 г. были найдены в районе г. Красноярска *Asteroxylon* sp. и *Hostimella hostimensis* P. et Br.

На основании данных литологии и отмеченных остатков флоры верхнюю часть разреза отложений свиты можно сопоставить с породами абаканской свиты Минусинской впадины и с анцирской свитой Канско-Тасеевской депрессии. Нижняя, значительная по мощности часть ивашихинской свиты, палеонтологически не охарактеризована.

3. Качинская свита. Под качинской свитой нами понимаются отложения девона, развитые в среднем течении р. Кан, в бассейнах рр. Игиля, Кунгуса, Рыбной и у г. Красноярска \*.

Как по литологическому составу, так и по цвету пород эта свита заметно отличается от нижележащих отложений ивашихинской и ассафьевско-привольнинской свит. Нижняя часть качинской свиты с конгломератом в основании (рр. Агул, Кан) представлена исключительно алевритами, аргиллитами и песчаниками буровато-красного, зеленого, фиолетового и серого цветов с преобладанием алевролитов, содержащих многочисленные известковые стяжения — журавчики, размером до 3—5 см. Мощность этого горизонта 300—400 м. В районах сс. Чаргинское, Иннокентьевки, Абакумовки непосредственно выше указанного горизонта залегают светлосерые кварцевые песчаники слабо сцементированные карбонатно-глинистым цементом. В минералогическом отношении эти песчаники мало отличаются от аналогичных образований с. Дзержинского (Канско-Тасеевская депрессия) и формировались, повидимому, также в условиях дельты. Максимальная мощность (до 100 м) горизонта светлосерых песчаников наблюдается в районе с. Чаргинского.

Стратиграфически выше залегают те же пестроцветы, что и в нижней части качинской свиты, с появлением среди них пластов (от 1,5 до 20,0 м) серых оолитовых известняков с включением линз халцедона. Мощность пород этого горизонта 150—250 м. Самая верхняя часть разреза свиты, по истинной мощности около 100—150 м, представлена красно-бурыми и зеленовато-серыми сильно карбонатными аргиллитами, местами переходящими в мергели и алевролиты.

Максимальная мощность отложений качинской свиты приурочивается к центральной части впадины (сс. Орловка, Михайловка 2-я) и составляет примерно 700—900 м. В краевых зонах впадины качинская свита залегает трансгрессивно-несогласно на ивашихинской, а в отдельных местах даже на докембрийских образованиях.

Как отмечалось выше, А. С. Хоментовским у с. Ново-Мариинки (р. Агул), у устья р. Ягаш, у с. Благовещенского (р. Кунгус), у с. Чаргинского (р. Кан) в аргиллитах и карбонатных псевдоконгломератах качинской свиты были найдены остатки панцирных рыб: *Osteolepis*, *Legalichtys*, *Bothriolepis*, *Dipterus*, *Holoptychius* (определение Д. В. Обручева) верхнедевонского возраста.

\* Прежние исследователи неверно включали в состав качинской свиты Рыбинской впадины и более древние слои выделенных В. Т. Мордовским ассафьевско-привольнинской и ивашихинской свит.

В 1952 г. в Саяно-Партизанском синклинории Рыбинской впадины авторами и В. И. Трапеновой были найдены в отложениях качинской свиты остатки рыб *Bothriolepis*, *Dipterus* (определение Д. В. Обручева) и листоногих *Sphaerestheria celsus* Novoj., *Brachystheria piskovishensis* Novoj., *Trigonestheria timanica* (Lutkevich) Novoj., *Asmussia vulgaris* (Lutkevich) Novoj., *Trigonestheria konyaensis* Novoj., *Eustheria* sp. (определение Н. И. Новожилова).

В 1953 г. у с. Есауловки (р. Есауловка) в этих же отложениях были найдены остатки *Archaeopteris* cf. *limbriata* Nathorst, споры *Knorria* и элементы других папоротников (определение Е. Ф. Чирковой-Залесской). Форма *Bothriolepis* sp. в породах качинской свиты была также найдена М. П. Нагорским в районе г. Красноярска.

По комплексу этой фауны и флоры слои качинской свиты параллелизуются нами с породами моноксской и кохайской свит франского яруса Минусинской котловины.

Таким образом, на основании изучения новых собранных нами остатков фауны и флоры среди пестроцветно-красноцветных отложений Рыбинской впадины могут быть выделены слои всех трех отделов девона.

Поступило  
14 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> К. И. Богданович, Горный журнал (1894). <sup>2</sup> М. К. Коровин, Материалы по геол. и полезн. ископ. Вост. Сиб., в. 7 (1932). <sup>3</sup> В. Т. Мордовский, ДАН, 85, № 5 (1952). <sup>4</sup> В. Т. Мордовский, Е. Ф. Чиркова-Залесская, ДАН, 87, № 5 (1952). <sup>5</sup> В. Т. Мордовский, Е. В. Кравченко, С. Ф. Федорова, Геологическое строение южной части Сибирской платформы, Изд. АН СССР, 1954. <sup>6</sup> Т. Н. Спизарский, М. Л. Молдавский, А. В. Лесгафт, Материалы ВСЕГЕИ, общ. сер., сб. 8, 1948. <sup>7</sup> А. С. Хоментовский, Бюлл. МОИП, отд. геол., 22 (6) (1947). <sup>8</sup> Е. Ф. Чиркова-Залесская, ДАН, 94, № 1 (1954).

В. С. МУРОМЦЕВ

## О ВОЗРАСТЕ ОСТРОГСКОЙ СВИТЫ КУЗБАССА

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 12 II 1954)

До настоящего времени вопрос о возрасте острогской свиты Кузбасса остается дискуссионным. Основным препятствием для его разрешения является бедность отложений этой свиты палеонтологическими остатками. Впервые фауна из острогской свиты была обнаружена в 1927 г. С. В. Кумпаном и В. Д. Фомичевым у д. Старой Балахонки, где она приурочена к прослою известняка (до 5 см мощности). Эту фауну М. Э. Янишевский<sup>(4)</sup> отнес к верхнему карбону, отметив наличие нижнекаменноугольных форм.

В 1932 г. А. П. Ротай<sup>(3)</sup> повторил сборы из района Старой Балахонки и пришел к выводу о верхнекаменноугольном возрасте собранной им фауны. Эта точка зрения получила широкое распространение и нашла свое отражение в общепринятой стратиграфической схеме угленосных отложений В. И. Яворского.

В 1938—1941 гг. О. В. Тыжновой из острогской свиты была собрана небольшая коллекция фауны, обнаруженная в керне колонковых скважин, пробуренных в районе с. Ермаки. Определявший эту фауну М. Э. Янишевский отнес ее к визейскому ярусу. М. Э. Янишевским определены: *Camarotoechia* aff.,  *davidsoni* Golm., *Solenomya* cf. *castellata* M'Coy, *Strophomena* cf. *analoga* Phill., *Chonetes* aff. *polita* M'Coy. Эти же формы были определены М. Э. Янишевским из отложений визейского яруса района с. Ермаки.

В 1950 г. Д. В. Наливкин в работе, посвященной условиям образования угленосных толщ, высказал мнение, выдвинутое им ранее, что острогская и балахонская свиты относятся к нижнему карбону. Это мнение он обосновывает, главным образом, тождеством острогской морской брахиоподовой фауны с фауной в слюях, подстилающих угленосную толщу Караганды. Он считает, что угленосная толща Караганды одновозрастна с балахонской свитой.

В 1952 г. Р. Н. Бенедиктова произвела дополнительные сборы фауны из района д. Старой Балахонки. Детально изучив ее методом пришлифовки, Р. Н. Бенедиктова доказала, что некоторые роды, определяемые ранее как верхнекаменноугольные, являются характерными для нижнекаменноугольных отложений.

В 1953 г. автором настоящей статьи при изучении керна колонковых скважин, пробуренных в районе сс. Ермаки — Малиновка в период 1942—1950 гг., в отложениях острогской свиты был встречен сравнительно богатый комплекс фауны и флоры, включающий представителей брахиопод, элелипод, гастропод, остракод, листоногих ракообразных (леайид) члеников криноидей, чешуи рыб, а также листья, пыльца и споры наземных растений.

Среди брахиопод, изучавшихся Т. Г. Сарычевой и А. Н. Сокольской в Палеонтологическом институте АН СССР, определены: *Chonetes* cf. *lon-*



*gispinus* Roem., встречающийся в намяре и верхах визейского яруса Европы; *Chonetes* (*Chonetes*) *schumardianus* Koen. и *Leiorhynchus carboniferus polypleurus* Girty — виды, известные из верхнего визе и намяра Бельгии. Ряд форм оказались определяемыми только до рода и здесь не приводятся. Указанные виды брахиопод в Кузнецком бассейне до настоящего времени не были известны. Т. Г. Сарычева и А. Н. Сокольская отмечают, что определенная ими фауна отличается по родовому и видовому составу от фауны брахиопод, известной ранее из района д. Старо-Балахонки. Это отличие фауны объясняется ими иными фациальными условиями, существовавшими в период накопления отложений острогской свиты в районе сс. Ермаки — Малиновка.

Т. Г. Сарычева и А. Н. Сокольская указывают на большое сходство фауны из острогской свиты Кузбасса с фауной верхов нижнего карбона Европы, где эти отложения представлены также глинистыми фациями.

В. А. Лапшиной, производившей изучение пелеципод, определены следующие формы: *Nucula akkuduki* Mirosch., *Nuculopsis ventricosa* (Hall.) Leda *attenuata* Flem., *L. meckana* Mark., *L. mariannae* Smir., *L. snjatkiv* Fedot., *Edmondia pentonensis* Hind., *Grammysioidea* sp. n., *Solenomya parallela* Beede et Rogers, *S. costellata* M'Coy, *Lithodomus* cf. *lingualis* Hind., *Aviculopecten* sp., *Posidoniella* sp. и др. По заключению В. А. Лапшиной, указанная выше фауна не противоречит нижнекаменноугольному возрасту включающих ее пород.

Однако В. А. Лапшина отмечает, что среди этой фауны встречаются в значительном количестве верхнекаменноугольные формы, главным образом, представители рода *Leda*, для которых характерно широкое вертикальное распространение. Так например, *Leda attenuata* Flem. известна в Западной Европе в отложениях верхнего карбона, в Донецком бассейне — в среднем карбоне, в Сибири она была обнаружена М. Э. Янишевым в нижнекаменноугольных глинистых сланцах у Томска.

Большой интерес представляет впервые обнаруженная в острогской свите фауна двухстворчатых ракообразных (леайид). Последние встречаются в большом количестве по всему разрезу и приурочены к алевролитам и аргиллитовым пачкам.

По сообщению Н. И. Новожилова, изучавшего коллекцию двухстворчатых ракообразных, все они представлены новыми видами нового рода *Amphikoilum*, относящегося к новому подсем. *Amphikoiluminae*. Н. И. Новожиловым установлены следующие виды: *Amphikoilum ermakovi* Novoj., *A. alienum* Novoj., *A. muromcevi* Novoj., *A. sibiricum* Novoj., *A. barsassicum* Novoj., *A. magnum* Novoj., *parvum* Novoj., *A. conterminum* Novoj.

Не исключена возможность, что при более детальном изучении этой фауны может быть положена в основу более подробной стратиграфии острогской свиты.

В ряде образцов из острогской свиты, подвергшихся мацерации, было обнаружено 82 вида спор. Из них 43 вида являются новыми, неизвестными ранее в палеозойских отложениях Кузбасса. Остальные 39 видов спор, по данным изучавшей их Л. А. Коваленко, распределяются следующим образом: 21 вид является характерным для нижнекаменноугольных отложений Тунгусской и Вестфальской флористических провинций; 18 видов, согласно литературным данным, известны в отложениях среднего верхнего карбона Тунгусской флористической области.

Спорово-пыльцевые комплексы острогской свиты не находят себе аналогов среди известных комплексов других флористических провинций. Наиболее близкими к ним являются спорово-пыльцевые комплексы алекеево-мазуровской толщи Кузбасса. В изученных образцах было обнаружено 14 видов пыльцы хвойных древнего типа.

Значительное количество пыльцы хвойных в отложениях острогской свиты является интересным фактом. До настоящего времени пы...



хвойных была известна лишь из отложений верхней части балахонской свиты.

Из растительных остатков, в большинстве своем плохой сохранности, С. В. Сухову удалось определить *Angaropteridium chacassicum* Radz. и *A. cf. abasicum* Zal., известных из Минусинской и Кузнецкой впадин. В последней эта форма приурочена главным образом к верхотомской зоне стратиграфической схемы А. П. Ротая (верхи визейского яруса).

*Angaridium cf. submongolicum* Neub. встречен в Кузбассе в отложениях острогской свиты и мазуровской толщи балахонской свиты. Кроме того, были встречены отпечатки, условно отнесенные к *Demetra asiatica* Zal., часто встречаемые в нижних горизонтах острогской свиты.

Приведенные выше результаты изучения собранных автором палеонтологических остатков свидетельствуют о более древнем возрасте рассматриваемых пород, чем это принято в настоящее время.

По всей вероятности, острогскую свиту следует относить к каменноугольным образованиям, соответствующим верхам визейского яруса. В связи с этим должен быть пересмотрен и возраст более молодых отложений, составляющих с острогской свитой единый цикл осадконакопления.

Не исключена возможность, что дальнейшее изучение двухстворчатых ракообразных и спорово-пыльцевых комплексов даст возможность прояснить более подробное расчленение и увязку между собой отдельных разрезов острогской свиты Кузбасса.

Поступило  
7 VIII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. Д. Залесский, Е. Ф. Чиркова, Палео-фитол. сборн., Изд. АН СССР, 1937. <sup>2</sup> М. Ф. Нейбург, Палеонтология СССР, 12, ч. 3, в. 2, ПИН АН СССР, 1948. <sup>3</sup> А. П. Ротай, Стратиграфия нижнекаменноугольных отложений Кузнецкого бассейна, 1938. <sup>4</sup> М. Э. Янишевский, Уч. зап. ЛГУ, 1, в. 1 (1935).



Д. П. РЕЗВОИ

**О ЮЖНОЙ ГРАНИЦЕ КУРАМИНСКО-ФЕРГАНСКОГО  
СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ПОДНЯТИЯ В ЮЖНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ**

(Представлено академиком Н. С. Шатским 12 II 1954)

Юго-западное окончание хребта Чаткальского и хребет Кураминский, как это указывается многими авторами, вступают в девонскую эпоху как суша (<sup>1</sup>, <sup>10</sup>). В. И. Попов, называющий это поднятие Кураминским, считает, что его максимальное развитие падает на средний девон и на начало верхнего (<sup>8</sup>). А. В. Пейве выделяет эту область как Сыр-дарьинско — Ферганскую глыбу с особым характером тектонического развития (<sup>7</sup>). По Д. В. Наливкину, это южная часть Арало-Джунгарского перешейка (<sup>5</sup>). Южная граница поднятия всеми предыдущими исследователями проводилась где-то под мощными четвертичными отложениями Ферганской котловины. Неоднократно в литературе отмечалось, что в разрезах Туркестанского и Алайского хребтов отсутствуют силы отложения продуктов размывавшейся каледонской суши, а весь разрез представлен типичными морскими отложениями.

Работы последних лет, выполненные автором в Южной Фергане, позволяют более точно установить время возникновения поднятия и достаточно отчетливо наметить его южную границу.

Как уже нами указывалось ранее (<sup>9</sup>), в низких предгорьях Туркестанского и Алайского хребтов, на значительном протяжении от г. Ура-Тюбе до устья р. Абшир, т. е. на расстоянии свыше 300 км, обнажается характерная пестроцветная свита с растительными остатками и непромышленными залежами каменного угля, описанными В. А. Захаревичем (<sup>3</sup>). Возраст свиты на основании находок граптолитов определен как венлокский. При прослеживании разрезов к югу свита быстро теряет свою пестроцветность и становится серой. Выше залегает свита монотонного чередования грубозернистых серых песчаников с маломощными прослойками темных глинистых сланцев, слагающая северные склоны гор Катран. Возраст свиты определен как лудлов. Южнее песчаники и сланцы сменяются известняковым разрезом «матчайского типа» (<sup>2</sup>, <sup>6</sup>).

Своеобразная пестроцветность, а местами загипсованность, наличие каменного угля и остатков наземных растений в отложениях венлокского яруса заставляют считать их образованиями прибрежно-морскими, может быть лагунными. Общая тонкозернистость материала, слагающего свиту, указывает на слабую интенсивность процессов размыва суши, что, в свою очередь, говорит скорее всего о ее низменном равнинном характере. Появление в верхней части разреза грубозернистых песчаников может говорить об усилении эрозионных процессов в лудловском веке.

Напомним, что по данным исследователей Северной Ферганы (<sup>1</sup>, <sup>4</sup>) заведомо верхнесилурийские отложения известны в Чаткальской горной системе только в ограниченном числе мест и на значительном удалении от мест, нами описываемых (бассейны рр. Сумсар, Касан, Терс). Таким образом, на значительном пространстве, примыкающем к Ферганской котловине с севера, верхнесилурийские отложения неизвестны.

В нижнем девоне следы размывавшейся суши остались нам в виде горизонта конгломератов с жединской фауной, обнажающихся в основании обрывов северных склонов гор Катран. При изучении этих конгломератов еще в 1940 г. нами был установлен очень непостоянный состав горизонта и мощность, меняющаяся от нескольких метров и до 200 м. Конгломераты

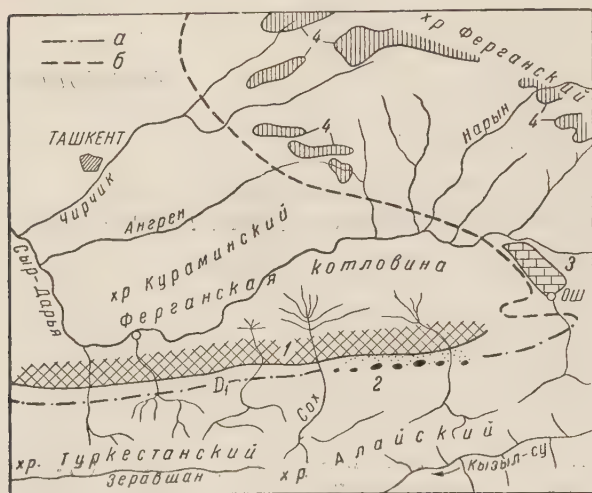


Рис. 1. Схема расположения южного края Кураминско-Ферганского поднятия в верхнем силуре и нижнем девоне. 1 — пестроцветная свита верхнего силура в Ю. Фергане, 2 — конгломераты нижнего девона в Ю. Фергане, 3 — Ошский риф-банка в силуре и девоне (преувеличено), 4 — заведомые отложения верхнего силура в С. Фергане. а — граница поднятия в нижнем девоне в Ю. Фергане, б — предполагаемая граница поднятия в верхнем силуре и нижнем девоне в С. Фергане

здесь с песчаниками, свита содержит линзы и прослой известняка, давшего нам богатую фауну брахиопод, кораллов и трилобитов жединского возраста.

Жединские отложения ложатся на разные горизонты верхнего силура, местами с некоторым угловым несогласием. Возрастными аналогами жединских конгломератов гор Катран в Чаткальской системе следует считать порфириново-туфовую свиту, также несогласно лежащую на верхнесилурийских сланцах Оутсая (1).

Очевидно, что рост поднятия начавшийся в венлоке, непрерывно продолжался в течение лудлова и настолько усилился в жединском веке, что грубообломочные продукты размыва поднятия до-

стигли на юге области предгорий современного Алайского хребта.

Грубообломочные отложения нижнего девона прослеживаются на значительном протяжении от долины р. Сох до р. Исфайрам, т. е. на расстояние свыше 200 км. Вместе с тем южнее, уже в 5—8 км, жединские конгломераты переходят в свиту тонкозернистых песчаников, чередующихся со сланцами.

Западнее долины р. Сох жединские отложения в Южной Фергане не выделены, но во всяком случае каких-либо грубообломочных образований, соответствующих конгломератам северного склона гор Катран, здесь неизвестно. Вероятнее всего, что эта часть бассейна была достаточно удалена от области размыва.

Наоборот, в Юго-восточной Фергане, именно в районе так называемых Ошских гор (Чиль-Майрам, Чиль-Устун и др.), близость поднятия чувствуется и в верхнесилурийских и в девонских отложениях.

Отложения лудловского, жединского и кобленцкого ярусов, представленных здесь известняками с обильной фауной, а местами кремнистыми и глинистыми сланцами, характерны резко пониженной по сравнению с соседними разрезами мощностью (400—600 м).

Среди сланцевых толщ Орто-тау (на севере) и Кеклик-тау (на юге) выделяется известняковый риф-банка гор Чиль-Майрам, характерный непрерывным накоплением известняков в течение всего лудловского века и всей нижнедевонской эпохи.

Непосредственно южнее располагается прогиб г. Кара-чатыр, в ко-



гором в этот же отрезок геологической истории накопилась вулканогенная толща (порфириды, диабазы, кремнистые сланцы, туфы) мощностью свыше 2 км.

Мы склонны рассматривать район Ошских гор как юго-восточную окраину описываемого поднятия. Здесь не было среднепалеозойской суши, но, вероятно, существовала подводная ступень, служившая пристанищем многочисленным брахиоподам, кораллам и ракообразным. Своеобразное северо-западное простиранье чильмайрамского известнякового массива-рифа может быть объяснено его расположением вдоль северо-восточного края поднятия наподобие барьерного образования.

Живетские отложения Южной Ферганы уже не дают нам сведений о существовании поднятия на месте Кураминских гор. Это мощные темные известняки и доломиты (горы Курган-Таш, Боорды) и эффузивно-сланцевая толща, обнажающаяся полосой вдоль низких предгорий Алайского и Туркестанского хребтов.

В верхнем девоне в области низких предгорий идет накопление известняков и доломитов. На севере в Кураминском и Чаткальском хребтах, в среднем девоне и в начале верхнего, еще продолжается накопление пестроцветной толщи песчаников, сланцев и конгломератов. Только в верхнем девоне начинается почти повсеместное отложение известняков с морской фауной.

Приведенные данные позволяют с некоторой уверенностью говорить о том, что поднятие, существовавшее в эпоху среднего палеозоя на месте современной Чаткальской горной системы, зародилось еще в верхнем силуре, достигло максимума своего развития, захватив всю Ферганскую котловину, в жединском веке и исчезло, как размываемая суша, в верхнедевонскую эпоху.

Поскольку в своем развитии это поднятие захватило кроме Кураминского хребта, почти всю область Ферганской котловины, мы предлагаем утвердить за ним название Кураминско-Ферганского поднятия.

То обстоятельство, что по своим размерам и длительности развития это поднятие соизмеримо с соседними геосинклиналями, позволяет, может быть, более правильно называть его Кураминско-Ферганской геантиклиналью.

Львовский государственный университет  
им. Ив. Франко

Поступило  
7 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. С. Аделунг, Геология Узбекской ССР, 1, М.—Л., 1937. <sup>2</sup> В. Н. Верер, Геологическая карта Средней Азии, Лист VII-6 (Исфара), Тр. ВГРО, в. 194, Л., 1934. <sup>3</sup> В. А. Захаревич, Тр. Уз. ФАН, 8, в. 2 (1941). <sup>4</sup> Е. Д. Карпова, р. Тадж. ФАН, 16 (1944). <sup>5</sup> Д. В. Наливкин, Научные итоги работ ТПЭ, М.—Л., 1936. <sup>6</sup> О. И. Никифорова, Монографии по палеонтологии СССР, 35, в. А (1936). <sup>7</sup> А. В. Пейве, Бюлл. МОИП, отд. геол., 22 (5) (1947). <sup>8</sup> В. И. Попов, История депрессий и поднятий Западного Тянь-Шаня, Ташкент, 1938. <sup>9</sup> Д. П. Резвой, ФАН, 93, № 5 (1953). <sup>10</sup> Н. М. Синицын, Геология Узбекской ССР, 1, М.—Л., 1937.



И. С. УСЕНКО

## О РАННИХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ УКРАИНСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 2 II 1954)

Как известно, наиболее древними образованиями Украинского кристаллического массива являются породы осадочно-метаморфической толщи, сложенной кварцитами, биотитовыми, биотитово-гранатовыми, силлиманитовыми, кордиеритовыми, ставролитовыми, графитовыми и другими гнейсами и кристаллическими известняками (<sup>3</sup>, <sup>6</sup>, <sup>10</sup>). Эти породы в главной своей массе гранитизированы и ассимилированы последующими интрузиями. В том или ином количестве они сохранились в Западном Приазовье, в бассейнах рр. Горного Тикича и Гнилого Тикича, Южного Буга и Днестра.

Среди пород этой осадочно-метаморфической толщи пользуются чрезвычайно широким развитием метабазиты (<sup>10</sup>), представленные различного состава амфиболитами. Состав метабазитов непостоянен и зависит от степени метаморфизации их, причем следует отметить, что содержащаяся в них роговая обманка — обычно широкотаблитчатая, образовавшаяся, несомненно, по пироксену.

Структура метабазитов также различная. Наиболее частой является гранобластическая, реже встречается нематобластическая (в сланцах). В менее измененных разновидностях довольно отчетливо наблюдаются псевдоморфные структуры — бластоофитовая и бластогабброофитовая. Все это является неопровержимым доказательством магматического происхождения метабазитов и в частности, эффузивного.

Кроме амфиболитов, в этой толще часто наблюдаются в общем согласные полосы пироксено-плаггиоклазовых гнейсов, которые в значительной своей части, если не все полностью, также являются метаморфизованными магматическими (повидимому, эффузивными) породами основного характера. В частности, магматическое происхождение пироксено-плаггиоклазовых гнейсов Побужья доказано Л. Г. Ткачуком (<sup>7</sup>).

Наряду с метабазитами в осадочно-метаморфической толще пород довольно большим развитием пользуются ультрабазиты, представленные в различной степени метаморфизованными перидотитами и пироксенитами, в ряде случаев измененными до полного исчезновения первичных минералов с образованием серпентинитов, актинолититов, тремолититов, гальковых и хлоритовых сланцев и других пород. Ультрабазиты и метабазиты, как совершенно отчетливо установлено в западном Приазовье, по рр. Южному Бугу, Горному Тикичу, Гнилому Тикичу и Днестру, залегают среди пород гнейсовой толщи в виде согласных пластовых тел, которые, повидимому, в одних случаях представляют собой интрузивные залежи и силли, в других — древние покровы. Доказательством этого в известной степени может служить наличие в этих породах реликтов бластогаббровых, бластоофитовых и бластопорфировых мелкозернистых структур. Залегают они также и в виде различного размера полос среди мигматитов.

Матабазиты и ультрабазиты, переслаиваясь с породами гнейсового комплекса и мигматитами, совместно с ними образуют складчатые структуры северо-западного простирания (Западное Приазовье, рр. Южный Буг, Горный Тикич, Гнилой Тикич). Отсюда можно сделать вывод, что внедрение и излияние ультраосновных и основных магм происходили до образования складок.

Переслаивание матабазитов и ультрабазитов с породами осадочно-метаморфической толщи и явно проявляющийся в ряде случаев эффузивный характер их дает основание предполагать, что весь этот комплекс формировался в подвижной зоне одновременно и представляет собой осадочно-эффузивную формацию геосинклинального типа (<sup>3</sup>, <sup>5</sup>, <sup>8-10</sup>), образовавшуюся в первый доскладчатый этап развития геосинклинальной (быть может, пангеосинклинальной).

Второй — складчатый этап развития этой геосинклинальной характеризуется широким развитием магматических процессов, связанных с появлением в зоне складкообразования магматических масс гранитного состава. К этому этапу относится образование гранодиоритов р. Берды, гранодиоритов Кременчуга, плагиоклазовых гранитов р. Саксагани, звенигородских гранодиоритов, бердичевских гранитов и чарнокитов Подолии. Все эти породы отличаются резко выраженным гибридным характером, содержат большое количество пачек и ксенолитов пород первого этапа развития геосинклинальной — различных гнейсов, матабазитов и ультрабазитов. С этим же этапом связано образование мигматитов, пользующихся широким распространением на территории Украинской кристаллической полосы, особенно в областях развития гранитных интрузий этого возраста.

Таким образом, в этом наиболее древнем геосинклинальном цикле развития Украинской кристаллической полосы довольно четко устанавливаются два периода. Первый период характеризуется прогибанием древней геосинклинальной и образованием осадочно-эффузивной толщи; второй период отличается развитием складкообразования, с ним связана метаморфизация пород осадочно-эффузивной формации (превращение их в кварциты, гнейсы, амфиболиты и амфиболизированные и серпентинизированные гипербазиты) и появление гранитной магмы. Гранитная магма образовалась, вероятно, за счет пород геосинклинальной в процессе складкообразования и поэтому генетической связи с источником основных эффузий доскладчатого его развития не имеет. Образование гранитной магмы, вероятно, связано с нараставшим процессом гранитизации, превратившимся в конце процесса в магмообразование (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>). Возможно, что появление гранитной магмы в какой-то степени обязано также селективному плавлению глубоко опустившейся геосинклинальной осадочной толщи.

Тонкополосчатость мигматитов, содержащих многометровой мощности полосы амфиболитов, почти не затронутых процессами гранитизации и иньекции, быть может, и является результатом такого селективного плавления легкоплавких частей осадочных пород в общем глинистого состава.

Позже эта эпоха диастрофизма сменяется новым этапом развития, также характеризующимся более или менее полным геосинклинальным циклом. Новый этап, как и первый, начинается отложением осадочно-эффузивной формации; эта формация известна под названием саксаганской или криворожской осадочно-метаморфической серии, породы которой развиты в бассейне рр. Саксагани, Ингульца, в районе Кременчуга.

Криворожская осадочно-метаморфическая серия состоит из различных по составу пород. Нижний отдел этой серии представлен кластогенными породами. В основании его залегают конгломераты, кверху, сменяющиеся песчаниками и филлитовыми сланцами. Эта толща подстилается мощной полосой матабазитов и в верхней своей части переслаивается с тальковыми и тальково-хлоритовыми породами, являющимися продуктом метаморфизации эффузивных гипербазитов (<sup>3</sup>).



Средний отдел выражен сланцево-роговиковой толщей, среди которой чрезвычайно большую роль играют джеспилиты и железистые роговики, слагающие продуктивные толщи Криворожского железорудного бассейна.

Верхний отдел, сложенный различными глинистыми и углистыми сланцами, частью безрудными роговиками и карбонатными породами, лежит несогласно на размытой поверхности пород среднего отдела. В составе этого отдела обнаружены конгломераты, содержащие гальку саксаганских плагиоклазовых гранитов (Я. Н. Белевцев).

Вся эта серия пород, несомненно, также образовалась в подвижной — геосинклинальной зоне (<sup>3</sup>, <sup>6</sup>, <sup>10</sup>). Она также в значительной степени является осадочно-эффузивной (нижний отдел), хотя эффузивы в ней в сравнении с аналогичной формацией первого этапа пользуются намного меньшим развитием.

Дальнейшая история этой геосинклинали определяется широким развитием складкообразования, сопровождающегося появлением крупных магматических масс гранитного состава, образовавших породы ингулецко-кировоградского интрузивного комплекса (<sup>6</sup>). В этот период структура криворожской толщи резко меняется, она превращается в складчатую зону субмеридионального простирания.

Породы криворожской метаморфической серии в составе Украинского кристаллического массива количественно играют сравнительно небольшую роль. Достоверно они известны только в средней части массива, где образуют складчатую субмеридиональную структуру, прослеживающуюся от Николо-Козельска до Кременчуга и севернее, уже в юго-западном борту Днепровско-Донецкой впадины. Что же касается пород магнитных аномалий, расположенных к востоку от этой полосы, то принадлежность их к криворожской метаморфической серии не доказана. Эти породы с одинаковым правом могут быть отнесены и к более древней группе.

Изучение пород магнитных аномалий, несмотря на то, что они образуют субмеридиональные складчатые структуры, обнаруживает целый ряд сходных черт с породами первого геосинклинального цикла. Они сложены осадочно-эффузивными формациями, которые в ряде случаев совершенно не отличаются от осадочно-эффузивных формаций, развитых по р. Южному Бугу и в Западном Приазовье. В частности, такая картина наблюдается в Славгородской, Конкской и Орехово-Павлоградской магнитных аномалиях. Среди пород этих аномалий чрезвычайно большим развитием пользуются метаморфизованные гипербазиты, metabазиты, частью гнейсы, совершенно неотличимые от аналогичных пород р. Южного Буга и Западного Приазовья.

Большим сходством с этими породами обладают также породы Верховцевской магнитной аномалии, в которой, кроме амфиболитов, серпентинитов и менее измененных гипербазитов, в последнее время Г. А. Макухиной в верхах толщи обнаружены также кварцевые порфиры. В целом эта толща состоит из переслаивания гипербазитов и metabазитов с породами осадочного происхождения — кварцитами (роговиками), микрогнейсами и частью менее метаморфизованными породами, относящимися к метаморфическим сланцам типа филлитов и др.

Возможность отнесения пород, слагающих упомянутые магнитные аномалии, к образованиям первого этапа в известной степени усиливается также тем, что в последнее время в конгломератах верхнего отдела криворожской серии, в районе рудника им. Фрунзе найдена галька саксаганских плагиоклазовых гранитов. Этот факт дает основание допускать более древний (докриворожский) возраст амфиболитов бассейна рр. Базавлук, Чертомлык и Мокрой Суры, так как амфиболиты базавлукского типа присутствуют в виде различного размера ксенолитов в плагиоклазовых гранитах р. Саксагани (район бывш. хуторов Березы, Соколовка).

Амфиболиты р. Базавлука и других вышеупомянутых рек ничем не

отличаются от амфиболитов, входящих в состав пород магнитных аномалий. Связь их с амфиболитами Верховцевской и Чертомлыкской магнитных аномалий можно проследить даже по обнажениям. Эта связь совершенно отчетливо фиксируется пространственным их размещением. Повидимому, в эту же возрастную группу входят породы Корсак Могилы, Куksунгур Могилы, Каменной Могилы, относившиеся ранее автором к породам криворожской серии (<sup>8</sup>, <sup>9</sup>).

Таким образом, приведенные материалы позволяют высказать предположение о том, что породы, слагающие Верховцевскую, Чертомлыкскую, Конкскую, Славгородскую и Орехово-Павлоградскую магнитные аномалии, и породы криворожской серии, развитые по рр. Саксагани, Ингульцу и в районе Кременчуга,— разновозрастные образования.

Появление первых, вероятно, относится к наиболее раннему геосинклинальному (возможно, пангеосинклинальному) циклу развития Украинской кристаллической полосы — бужско-приазовскому; образование вторых связано со следующим циклом, который можно назвать криворожским.

Институт геологических наук  
Академии наук СССР

Поступило  
23 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ю. А. Кузнецов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1953). <sup>2</sup> Д. С. Коржинский, там же, № 2 (1952). <sup>3</sup> Ю. Ир. Половинкина, Тр. Лаб. геол. докембрия, в. 2 (1953). <sup>4</sup> Н. П. Семененко, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1951). <sup>5</sup> Н. П. Семененко, там же, № 1 (1953). <sup>6</sup> Н. П. Семененко, Тр. Лаб. геол. докембрия, в. 2 (1953). <sup>7</sup> Л. Г. Ткачук, Гайворон-Завальский комплекс чарнокито-норитовых пород та зв'язані з ними родовища хроміту, Изд. АН УРСР, 1949. <sup>8</sup> И. С. Усенко, ДАН, 87, № 5 (1952). <sup>9</sup> И. С. Усенко, Геол. журнал АН УРСР, 12, в. 3 (1952). <sup>10</sup> И. С. Усенко, Архейские метабазиты и ультрабазиты Украинского кристаллического массива, Изд. АН УССР, 1953.

Е. В. ЧИБРИКОВА

**НАХОДКИ СПОР В БАВЛИНСКОЙ СВИТЕ БАШКИРИИ***(Представлено академиком С. И. Мироновым 5 II 1954)*

На территории западной части Башкирской АССР, так же как и во многих других областях Русской платформы, под фаунистически охарактеризованным девоном залегает толща терригенных пород различной мощности. В пределах платформенной части республики она носит название бавлинской свиты, а в области Предуральской депрессии — ашинской\*.

До самого последнего времени возраст этих отложений, почти лишенных органических остатков, определялся геологами весьма различно. Достаточно сказать, например, что Всесоюзным совещанием по выработке унифицированной схемы стратиграфии девонских и додевонских отложений Русской платформы и западного склона Урала (1951 г.) было решено возраст бавлинской свиты условно считать от нижнего девона до кембрия включительно. На этом же совещании было предложено подразделять рассматриваемые породы по особенностям их литологического состава на нижнебавлинскую и верхнебавлинскую свиты и считать последние стратиграфическими аналогами ашинской свиты западного склона Южного Урала.

Башкирскими геологами принято трехчленное деление бавлинской свиты<sup>(8)</sup>, а именно (снизу вверх): терригенно-доломитовая свита, нижнебавлинская и верхнебавлинская. Возраст верхнебавлинской свиты, отвечающей верхней части ашинской, считается условно нижнедевонским, нижнебавлинской — силурийским, а терригенно-доломитовой — кембрийским.

Нами (в Горно-геологическом институте Башкирского Филиала АН СССР) была выполнена работа по поискам и определению спор в породах бавлинской свиты. Для исследования было выбрано восемь пунктов, из которых споры были обнаружены только в четырех: Старо-Петрове, Культюбе, Орьебаше и Черкассах.

Из бавлинской свиты было проанализировано 250 образцов, из которых только 16 содержали количество спор, достаточное для количественного анализа. Эти 16 образцов распределяются по скважинам следующим образом: 9 образцов из Старо-Петровской скважины, 4 из Культюбинской, 2 из Орьебашской и 1 образец из Черкассинской скважины.

Все эти образцы, за исключением одного из Орьебашской скважины, характеризуют ту часть разреза терригенной толщи, за которой установлено название верхнебавлинской свиты, либо из верхней части ашинской свиты, считающейся синхроничной верхнебавлинской.

В каждом из указанных образцов насчитывалось от 70—80 до 200 экз. спор, а всего более 2000 спор. Все эти споры представлены немногочис-

\* Ашинская свита типично представлена на западном склоне Южного Урала. Параллелизация ее с бавлинской свитой платформы, так же как и с додевонскими отложениями Предуральского прогиба, довольно условна.



ленными, морфологически примитивными видами, описанными С. Н. Наумовой<sup>(4)</sup> из так называемых «немых» древних свит (включающих ашинскую) западного склона Южного Урала. Кроме того, эти же виды спор, вместе с некоторыми другими, были обнаружены названными автором в нижнекембрийских отложениях Прибалтики, охарактеризованных фаунистически<sup>(3)</sup>.

Из древних свит западного склона Южного Урала С. Н. Наумова было описано 6 видов спор: *Leiotriletes minutissimus* Naum., *L. simplicissimus* Naum., *L. crassus* Naum., *Trachytriletes minutus* Naum., *Tr. verelusus* Naum. и *Tr. incrassatus* Naum.

Все перечисленные виды, за исключением *Leiotriletes crassus* Naum., мы встретили и в бавлинской свите западной Башкирии. Самыми многочисленными, насчитывавшимися в некоторых образцах до 200 экз. на один препарат, оказались *Leiotriletes minutissimus* Naum. Второе место по численности занимают очень мелкие споры (размером от 8 до 16  $\mu$ ) — новый вид, встреченный нами в большом количестве в самых верхних горизонтах бавлинской свиты и отнесенный к группе *Lophotriletes*. Далее следуют *Trachytriletes minutus* Naum. и *Tr. verelusus* Naum., затем *Tr. incrassatus* Naum.

Необходимо отметить, что в так называемой нижебавлинской свите (в указанном выше одном образце) встречены те же споры, что и в верней бавлинской — преимущество *Leiotriletes minutissimus* Naum., хотя об этих названных толщи принято считать разновозрастными (верхнебавлинскую — нижедевонской, нижебавлинскую — силурийской).

Выделенный нами комплекс спор позволяет сделать вывод, что даже верхняя часть бавлинской свиты (и ее стратиграфический аналог — верхние горизонты ашинской свиты) имеет возраст не моложе кембрийского, скорее даже более древний, так как в типичных нижнекембрийских отложениях Прибалтики комплекс спор более сложный, чем в бавлинской свите.

Близкие комплексы спор указываются из терригенной толщи додевонских отложений центральных областей Русской платформы<sup>(1, 2, 5-7)</sup>, где кембрийский и докембрийский их возраст принимается большинством геологов. Это, с одной стороны, косвенно подтверждает изложенное представление о возрасте бавлинской свиты, а с другой, позволяет сопоставлять последнюю с додевонскими отложениями центральных частей Русской платформы.

Поступило  
30 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Е. Г. Бузова, Сборн. Вопросы геологии и геохимии нефти и газа (Европейская часть СССР), М., 1953. <sup>2</sup> А. В. Копелиович, там же. <sup>3</sup> С. Н. Наумова, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1949). <sup>4</sup> С. Н. Наумова, Тр. МОИГ, отд. геол., I (1951). <sup>5</sup> А. Н. Петровская, Сборн. Вопросы геологии и геохимии нефти и газа (Европейская часть СССР), М., 1953. <sup>6</sup> И. Е. Постникова, там же. <sup>7</sup> И. Е. Постникова, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1953). <sup>8</sup> К. Р. Тимергазин, Сборн. Девон Русской платформы, ВНИГРИ, 1953.



Б. М. ЮСУПОВ

## К ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТАТАРСКОГО СВОДА

(Представлено академиком С. И. Мироновым 9 II 1954)

1. Так называемый Татарский свод представляет собой крупную структуру, выраженную на поверхности докембрийского кристаллического фундамента. Главная ось его простирается с ЮВ на СЗ вдоль линии, соединяющей дд. Заинск — Кукмор. От последнего пункта она, повидимому, продолжается далее к СЗ и, несколько ундулируя, идет на соединение с осью Котельничского выступа кристаллического докембрия. К ЮЗ, а также и СВ от гребня свода поверхность докембрийских пород испытывает региональное погружение.

Величина погружения кристаллического массива в угловом выражении в большей части структуры не превышает 30 мин. Лишь в пределах юго-восточной зоны юго-западного погружения структуры она достигает 5—6°. Юго-западное крыло структуры сливается с северо-восточными бортами Мелекесско-Аксубаевского и Ульяновско-Казанского прогибов. Последние отделяют Татарский свод от Самаро-Лукского и Токмаковского сводов кристаллического массива. Восточный склон Татарского свода в своем погружении уходит далеко на восток и, повидимому, сливается с западным бортом Предуральского прогиба. Северо-восточный же склон его, моноклинально погружаясь, заходит в пределы Молотовского Прикамья.

2. Между Татарским, Самаро-Лукским, Токмаковским сводами кристаллического фундамента и отделяющими их прогибами существует генетическая связь. Они взаимно-обусловлены. В древнем и нижнем палеозое все эти поднятия и прогибы, как следует из работы Н. С. Шатского, представляли в тектоническом отношении единую систему, образовавшую восточный массив Сарматского щита.

Восточный массив, так же как и западный, лишен осадков древних отложений. Последние окаймляют его, заполняя древние прогибы и синеклизы (<sup>1</sup>). Новые данные, полученные от бурения глубоких скважин, в основном подтверждают справедливость схемы Н. С. Шатского. Однако имеются некоторые факты, которые позволяют несколько уточнить указанную схему. В частности, следует приблизить на палеогеографической карте Н. С. Шатского восточную границу массива к Волге в районе бассейна р. Сока, так как на указанной карте она проведена значительно восточнее границы распространения древних осадков. Согласно нашей карте (см. рис. 1), западная граница распространения так называемых бавлинских (доживетских) пород проходит через Зольный овраг Самарской Луки, восточнее г. Мелекесс, южнее Шугурово, Бугульмы, через д. Бавлы, ст. Туймаза. К востоку от указанной на карте линии повсеместно, вплоть до Урала, с возрастающей мощностью развиты древнепалеозойские и допалеозойские осадки, а к западу от нее таковые отсутствуют.

3. В районах развития бавлинских отложений докембрийские кристаллические породы (фундамент) залегают сравнительно глубоко и, соот-

ветственно, занимают низкое гипсометрическое положение. Мощности этих древних отложений увеличивается сообразно с понижением отметки фундамента. Однако не на всех участках депрессии фундамента они присутствуют. В районе бавлинской структуры, например, уровень верхней границы развития доживетских отложений ограничивается абсолютной отметкой около — 1600 м. При уровне залегания фундамента ниже этой

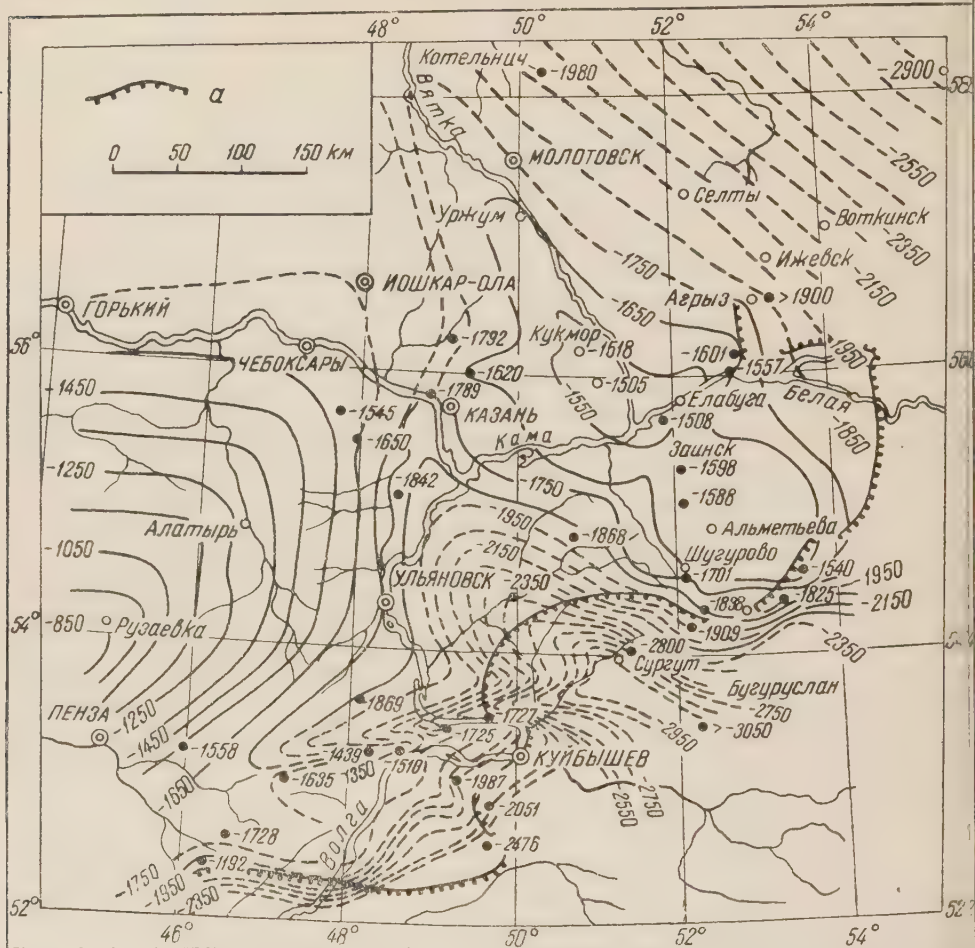


Рис. 1. Схематическая карта рельефа кристаллического фундамента. а — западная граница распространения доживетских отложений

отметки здесь всюду наблюдаются осадки данного возраста, а если фундамент выше указанной отметки, то таковые на нем отсутствуют. К западу же от Бавлов — в районах дд. Ойкино, Шугурово, Черемшан, Аксубаево, Камское Устье, г. Казани — древние отложения отсутствуют при залегании фундамента на отметках — 1700—1900 м абсолютной высоты, а в районе Присызранского мезозойского прогиба они отсутствуют даже при отметке залегания фундамента — 2140 м.

4. Исходя из приведенных данных, следует прийти к выводу, что наблюдаемые в современном структурном плане прогибы, расчленяющие восточный массив на отдельные выступы (своды), неодновременны. Прогибы, развитые по краевой зоне массива, заложены в протерозое, развивались в древнем и нижнем палеозое, а внутренние прогибы, лежащие ниже палеозойских осадков, — значительно позже, не раньше

среднего девона. Соответственно с этим структурные элементы (склоны, куполы и др.) указанных сводов также неоднородны.

5. Тектоническое развитие Татарского свода и формирование в его пределах палеозойских образований автору рисуется следующим образом. В древнем и нижнем палеозое Татарский свод представлял собой как бы воздымающийся массив, противостоящий окаймляющей его с ЮВ, В и СВ депрессии. За счет продуктов разрушения этого массива в депрессии отлагались так называемые бавлинские осадки. Депрессия в своем развитии имела тенденцию расширяться. В связи с этим Татарский свод начал «отступать» к СЗ, уступая место живетскому морю, наступающему со стороны древнепалеозойской депрессии.

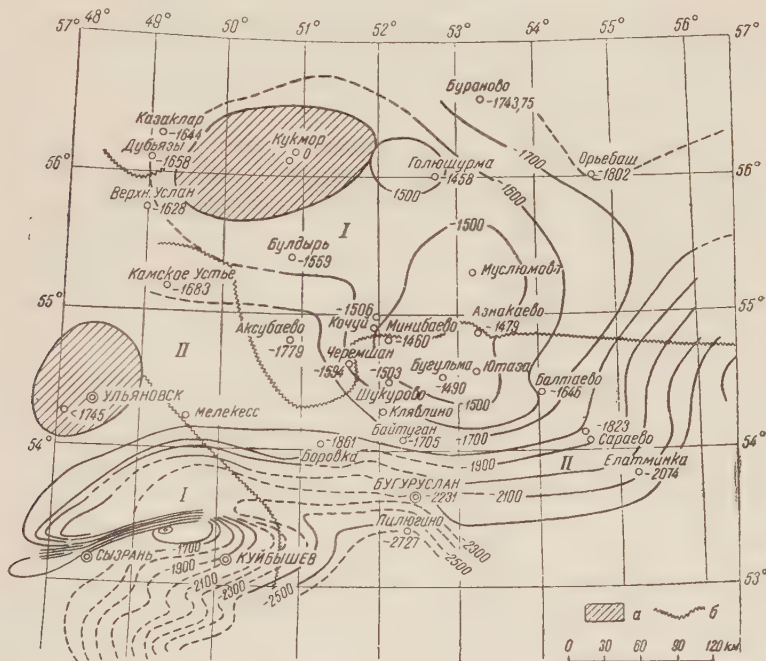


Рис. 2. Схематическая карта кровли пашийской толщи девона. а — область отсутствия живетских, пашийских отложений; б — северная граница распространения нижнеживетских отложений. I — область отсутствия живетских отложений; II — область распространения живетских отложений

6. Живетское море не сразу и не полностью залило территорию Татарского свода. Оно мигрировало в его пределы неравномерно, с перерывами. Об этом говорит тот факт, что осадки данного моря резко сокращаются в мощности по направлению с юга на север и с востока на запад. Сокращение мощности этих отложений в указанном направлении происходит, главным образом, за счет выпадения из разреза их нижних комплексов пород, в частности пород нижнеживетского подъяруса. Последние получили развитие лишь в районах, расположенных южнее широты д. Азнакаево; к северу они выклиниваются (см. рис. 2). Верхнеживетское море в силу дальнейшего развития депрессии вторглось значительно севернее, чем нижнеживетское, а нижнефранское море разлилось еще дальше. Однако значительная часть северо-западной половины свода и в нижнефранское время не была покрыта морем (рис. 2). Не трудно заметить что развитие фаций шло с ЮВ на С, СЗ.

Доманиковское время характеризуется общим погружением свода, которое продолжалось до конца турнейского века, когда произошел региональный подъем территории. В результате этого подъема подвергнуты



значительному размыву породы турнея. Визейский век ознаменовался новым погружением, вызвавшим вторжение моря, в условиях которого сначала отлагались терригенные осадки угленосной свиты и тульского горизонта, а затем хемогенные и органогенные образования окской, серпуховской свит и намюрского яруса. После намюра свод вновь воздымался, а в верее произошло его опускание. Верейский прогиб развивался до конца нижней перми, после чего отмечается региональный подъем вызвавший глубокий размыв артинских образований.

Уфимский век, как нам кажется, был началом нового погружения данного участка земной коры, которое в своем развитии вызвало вторжение Казанского моря. Казанский век отмечается многократными колебательными движениями свода, связанными с последними проявлениями герцинского тектогенеза. В условиях сложных тектонических колебаний в конце татарского века, рассматриваемая территория вновь приобрела характер суши. Таким образом, Татарский свод в течение палеозоя испытывал чрезвычайно крупные изменения. Он многократно поднимался и опускался, приобретая все новые и новые структурные формы. Поэтому современный его структурный план следует рассматривать как итог сложных тектонических движений, в котором воплощены результаты докембрийского, каледонского, герцинского и альпийского циклов тектогенеза. В структурных элементах свода особо рельефно выражены результаты альпийского тектогенеза.

Альпийские тектогенетические движения вызвали заметные погружения кристаллического фундамента по периферии свода (Мелекесско-Аксубаевский и Ульяновско-Казанский прогибы), а также внутри его в полосу долины Камы и нижнего течения р. Зая. Камско-Заинский прогиб делит Татарский свод на два неравные по площади и высоте поднятия: юго-восточное с максимумом абсолютной отметки около 1550 м и северо-западное с отметкой 1505 м. Указанные прогибы характеризуются развитием в них, кроме палеозойских осадков, третичных, в большей части плиоценовых отложений. В приподнятых же зонах массива отложения третичного возраста отсутствуют. Вероятно, они в этих районах вообще не отлагались. В то время, когда в условиях прогибов происходило накопление осадков плиоцена, в условиях выступов, в силу продолжающегося общего подъема Татарского свода, подвергались разрушению размыву пермские образования. Размыв и поднятие взаимно не компенсировались, местность не пенеценизировалась, а наоборот, воздымалась, что привело к образованию Бугульминско-Альметьевского и Вятско-поднятий. Формирование так называемых Сокско-Шешминского и Вятского валов в современном их тектоническом плане, по мнению автора, связано с этой частью истории развития Татарского свода.

Татарский свод является основой развития почти всех локальных выраженных на слоях палеозоя структур Татарии. Им контролируются структуры ряда нефтяных месторождений Второго Баку.

Геологический институт  
Казанского филиала Академии наук СССР

Поступило  
9 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. С. Шатский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1952).



ПЕТРОГРАФИЯ

С. И. БЕНЕСЛАВСКИЙ

**НЕКОТОРЫЕ ПРИЧИНЫ НЕПОЛНОЙ ВЫЩЕЛАЧИВАЕМОСТИ  
ГИББСИТОВЫХ БОКСИТОВ**

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 11 II 1954)

Известно, что при применении гидрохимического метода для получения окиси алюминия из бокситов выщелачивание производится при различных температурах применительно к разным минеральным формам глинозема. Так, гиббсит выщелачивается при 105°, бемит при 190° и диаспор при 215—225°. Свободная кристаллическая  $\alpha$ -окись алюминия — корунд — не выщелачивается совсем.

Изучение выщелачиваемости гиббситовых бокситов некоторых месторождений показало, что извлечение глинозема из многих проб при 105° значительно ниже, чем это возможно по расчету. Химический состав и выщелачиваемость при температуре 105° указаны в табл. 1. По своему минералогическому и химическому составу эти пробы в общем не отличаются друг от друга и представлены гиббситом, каолинитом, кварцем, гематитом, гетитом, гидрогетитом, ильменитом, рутилом и скрытокристаллическим или коллоидным веществом. Основная часть вещества изотропна, только отдельные комочки обнаруживают слабую анизотропию. Его оптические свойства характеризуются только показателем преломления. Остальные оптические константы анизотропных комочков не определяются ввиду их крайне незначительных размеров.

Таблица 1

Химический состав и выщелачиваемость при температуре 105° бокситов некоторых месторождений гиббситового типа

№ пробы	Районы месторождений	Содержание в %									Извлечение $Al_2O_3$	
		п. п. п.	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	CaO	MgO	$P_2O_5$	$\Sigma$	расч.	факт.
1	Украина	21,40	40,19	8,70	26,85	2,90	0,05	0,03	0,11	100,19	81,67	57,00
2		21,00	57,10	5,70	32,00	2,50	сл.	0,43	0,09	98,39	87,00	58,20
3	Средн. Урал	20,00	35,00	6,40	31,60	5,60	0,18	не опр.	0,23	99,01	84,48	80,00
4		18,92	31,95	4,40	34,60	4,98	0,03	0,18	не опр.	94,87	88,17	85,70
5	Сибирь	21,40	39,80	9,60	23,20	5,40	0,40	0,09	0,11	99,91	79,50	74,80
6		14,00	39,40	2,80	39,90	2,60	сл.	0,35	не опр.	98,15	93,90	61,50
7	Сев. Казахстан	23,70	46,68	3,50	23,10	2,35	0,38	0,22	0,22	100,15	93,60	85,60

Показатель преломления вещества колеблется в широких пределах. Выделяются три интервала, в которые укладываются его значения: 1,560—1,572; 1,618—1,660; 1,690—1,740. Наиболее часто встречаются комочки с показателем преломления 1,560—1,572 и наиболее редко с 1,690—1,740.

Установлено, что существует зависимость между показателем преломления вещества и его удельным весом. Вещество с показателем преломления 1,560—1,572 имеет  $d \simeq 2,75$ ; вещество с показателем преломления 1,618—1,660 концентрируется во фракции с  $d \simeq 3,00$  и вещество с показателем преломления 1,690—1,740 — во фракции с  $3,32 < d < 3,98$ .

Количественное значение отдельных фракций этого вещества в бокситах различных месторождений разное. Вещество с  $d = 2,75$  с показателем преломления 1,560—1,572 присутствует в бокситах всех месторождений. Две другие фракции вещества могут присутствовать вместе, но с значительным преобладанием более легкой и более низко преломляющей или же наблюдается только тяжелая фракция с высоким показателем преломления. Рентгеноструктурный анализ, произведенный М. С. Белеукиным, показал, что вещество с показателем преломления 1,560—1,572 имеет кристаллическую решетку гиббсита, иногда с несколько увеличенными параметрами и необычной интенсивностью некоторых интерференционных линий по сравнению с данными таблиц. Это свидетельствует о присутствии в гиббсите какого-то твердого раствора.

На рентгенограммах фракций с  $d \simeq 3,00$  и показателем преломления 1,618—1,660 отмечаются линии бемита, сильно завуалированные интенсивным фоном от рентгеноаморфной фазы. Судя по измененным интенсивностям линий, кристаллическая решетка бемита находится в неравновесном состоянии. Рентгеноструктурный анализ вещества с показателем преломления 1,690—1,740 показал, что оно почти во всех случаях имеет решетку корунда. Иногда на рентгенограммах получают слабые линии соответствующие линиям искаженной решетки гиббсита и решетки диаспора. Наличие в бокситах гиббситового типа бемита и, возможно, диаспора, а также безводной окиси алюминия обычно можно установить расчетным путем, как, например, в пробе № 2 табл. 1. При пересчете химических анализов гиббситовых бокситов на минералогический состав часто обнаруживается недостаток воды для связывания окиси алюминия в гиббсит. Это давно отмечалось многими исследователями. Е. В. Рожкова и М. В. Соболева <sup>(4)</sup> высказывали предположение о существовании наряду с гиббситом минерала гидрата глинозема, содержащего менее трех и более одной молекулы воды. В. И. Луицкий <sup>(3)</sup> считал, что имеется дигидрат глинозема, который он назвал каменскитом. А. К. Гладковский и А. К. Шарова <sup>(2)</sup> сообщили об установлении ими четырех новых минералов гидроокиси алюминия, содержащих от 0,1 до 3 молекул воды.

При пересчете автором 1106 химических анализов боксита одного из месторождений установлено, что в 487 анализах имеется несоответствие между количествами глинозема и конституционной воды (п.п.п.) для образования гиббсита. При этом не учитывалась вода, входящая в состав минералов гидроокиси железа и водных алюмосиликатов. Количество глинозема, связанного в гиббсит, составляет в среднем 77%, а связанного в минералы, содержащие менее трех молекул воды, 23% от всего количества глинозема. Естественно, что недостаток воды в анализе для связывания глинозема в гиббсит наиболее отчетливо проявляется при присутствии в боксите безводной окиси алюминия — корунда, как, например, проба № 6 в табл. 1.

На присутствие корунда в гиббситовых бокситах впервые указала К. Ф. Терентьева <sup>(5)</sup>, обнаружившая этот минерал в одном из североказакстанских месторождений. Автором этой статьи совместно с А. М. Дмитриевой корунд установлен в ряде месторождений бокситов гиббситового типа. Корунд, как правило, приурочен к бобовинам и почти всегда наблюдается в их центральной части. Это мелкодисперсное вещество зеленовато-бурого цвета, почти не действующее на поляризованный свет, с глубокими морщинками усыхания — септариями, с показателем преломления 1,710—1,730. Химического анализа чистого корунда из бокситов у нас не имеется ввиду практической невозможности отделить его

*К статье С. И. Бенеславского, стр. 1077*



Рис. 3

*К статье М. Я. Субботина, стр. 1097*

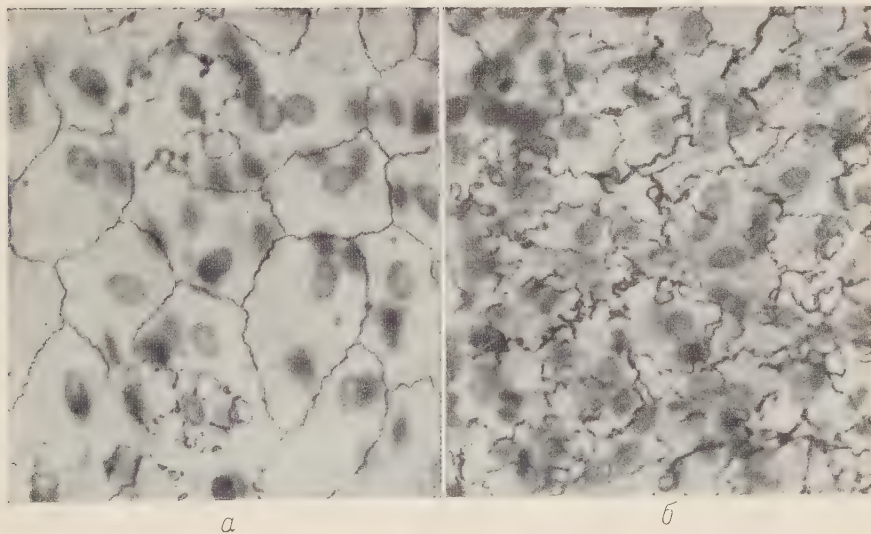


Рис. 1





от тесно ассоциирующегося с ним гиббсита и минералов с близким к нему удельным весом — рутила, ильменита и циркона. Химические анализы корундовых фракций приведены в табл. 2.

Таблица 2

Уд. вес фракций	Содержание в %					
	п. п. п.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Σ
>3,32 <3,98	3,32	4,01	61,73	5,27	10,04	18,41
	3,98	4,10	73,08	5,39	8,52	5,47
	3,98	1,83	58,49	1,48	11,95	25,72
						99,46
						96,35
						99,47

Термический анализ фракций (см. рис. 1 и 2), проведенный методами нагревания и обезвоживания, показал, что в них присутствует небольшое количество гиббсита, который не смог быть отделен от корунда ни центрифугированием, ни 4-часовым кипячением в крепкой соляной кислоте. Рентгеновский анализ показывает ясную структуру курунда (см. рис. 3).

Присутствие в бокситах гиббситового типа моногидратов глинозема и корунда подтверждается результатами выщелачивания при температурах 150, 205 и 225° (ср. табл. 1 и 3).

Корундовая фракция также была подвергнута выщелачиванию при температурах 105, 190 и 230°. При этом выщелачиваемость оказалась: при 105° 0,56%, при 190° 78,70% и при 230°—79,00%.

Растворимость корундовой фракции, имеющей в своем составе до 0,2 молекул воды на содержащийся в ней глинозем, при температуре 105° подтверждает, что во фракции присутствует гиббсит, не обнаруживаемый микроскопически.

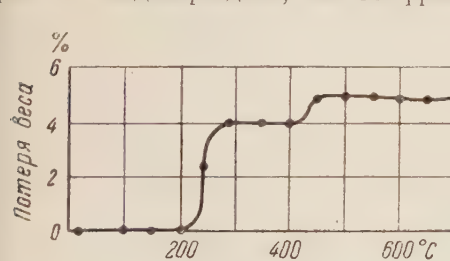


Рис. 2

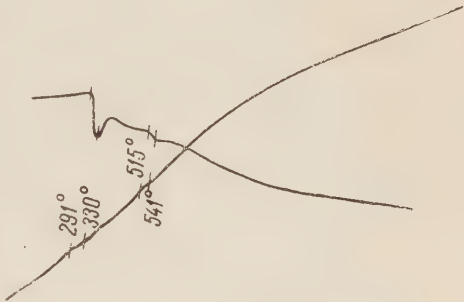


Рис. 1

Растворимость корунда при 190°, т. е. при температуре растворения в щелочах бемита, свидетельствует о том, что мы имеем дело с мутабильной формой, не обладающей в полной мере свойствами корунда. Только 21% глинозема из состава фракции, не растворяющейся при 230°, соответствует всем показателям корунда.

Совместное присутствие в бокситах гиббсита и бемита известно во многих месторождениях СССР, Европы и Америки. По представлениям некоторых геологов, такой парагенезис объясняется приуроченностью этих месторождений к геосинклиналям (СССР, Франция, Венгрия) или их значительной древностью (палеозой — северо-запад СССР). Многие исследователи (1, 7, 8) присутствие в бокситах моногидратов глинозема считают признаком их метаморфизма. Ю. К. Горецкий (1) полагает, что в процессе динамометаморфизма трехводный глинозем «частично дегидратируется и переходит в моногидратную форму». На значение давления и температуры в изменениях гиббсита в бемит, в конечном счете последнего в диаспор указывает Хардер (7).

В. И. Лучицкий <sup>(3)</sup> писал: «характерна связь различных типов бокситов с геологическим возрастом и тектоническими условиями. Гиббситы приурочены к мезозойским отложениям (Средний Урал, Акмолинск, Салаир и др.), гиббсит-бемититы к каменноугольным (Тихвин) бемитит-диаспориты к девонским и силурийским (Южный и Северный Урал).

Таблица 3

Выщелачивание проб  
бокситов гиббситового  
типа при 150, 205 и 225°

№№ проб	Т-ра опы-та в °	Извлечение глинозема в %	
		расч.	факт.
1	150	81,67	72,50
	225	81,67	81,50
2	150	87,00	71,30
3	205	84,48	85,30
5	150	79,5	75,6
6	190	93,9	84,13
	205	93,9	87,33
	225	93,9	90,41
7	190	93,6	91,9

С сильно дислоцированными, метаморфизованными отложениями связаны перекристаллизованные бокситы с парагенезисом: диспор — корунд — силлиманит и др. (Средняя Азия, остров Наксос в Греции и др.). Однако в то же время многие исследователи указывают, что бокситы, образовавшиеся в одних тектонических условиях, могут иметь как диаспоровый, так и бемитовый состав, например Пей-де-Фенуиз и Ариеж. Это же подтверждает де Вейссе <sup>(9)</sup>, который пишет, что в Венгрии известны гиббситовые, бемитовые и диаспоровые бокситы, находящиеся в одинаковых тектонических условиях. На это же обращает внимание Хаберфельнер <sup>(6)</sup>: «примечательным является также то, что диаспоровые бокситы

встречаются в мало нарушенном районе области Карст, а в сильно нарушенном верхнем мелу Альп, например, известны бемитовые бокситы».

В гиббситовых бокситах моногидраты глинозема до последнего времени оставались неизвестными. Бемит в них впервые был описан автором в 1951 г.

**Выводы.** 1. Для бокситов месторождений СССР так называемого гиббситового типа характерен парагенезис гиббсита и бемита. Вполне вероятно присутствие диаспора, в настоящее время обнаруженного только в виде твердого раствора рентгеноструктурным методом. В этих же бокситах обычно присутствуют сингенетический корунд и аморфная окись алюминия.

2. Наличие в бокситах моногидратов глинозема не обязательно является следствием метаморфизма. Возможно прямое образование бемита и, вероятно, диаспора за счет старения алюмогеля в условиях нормальных температуры и давления. Образование корунда, видимо, также обязано этому процессу.

3. Причиной неполной выщелачиваемости гиббситовых бокситов при температуре 105° является присутствие в них различных количеств моногидрата глинозема, в основном бемита, а также окиси алюминия в аморфном виде и в форме корунда.

Соотношение между тригидратом, моногидратом и безводным глиноземом в гиббситовых бокситах непостоянно и зависит от степени кристаллизации первичного вещества, которое, в свою очередь, зависит от условий микросреды отложения и диагенеза.

Поступило  
11 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ю. К. Горецкий, Тр. ВИМС, № 1 (1948). <sup>2</sup> А. К. Гладковский, А. К. Шарова, ДАН, 88, № 1 (1953). <sup>3</sup> В. И. Лучицкий, Вопросы минералогии, геохимии и петрографии, Изд. АН СССР, 1946. <sup>4</sup> Е. В. Рожкова, М. В. Соболева, Тр. Инст. мин. сырья, 10, Бокситы, 1, 2, 1936. <sup>5</sup> К. Ф. Терентьева, Тр. ВИМС, № 2 (1948). <sup>6</sup> E. Habermelner, Berg- und Hüttenmann Monatshefte, 96, No. 4 (1951). <sup>7</sup> E. Harder, Bull. Geol. of America, 60, May (1949). <sup>8</sup> A. Lapparent, C. R., 229, No. 18 (1949). <sup>9</sup> J. de Weisse, Les bauxites de l'Europe centrale (Province dinarique et Hongrie), Lausanne, 1948.

ПЕТРОГРАФИЯ

В. А. ГРОССГЕЙМ и К. Ф. КОРОТКОВА

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ПЕТРОГРАФИИ ПОРОД ВЕРХНЕГО СЕНОНА  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА***(Представлено академиком Н. М. Страховым 4 II 1954)*

В петрографическом отношении породы верхнего мела северо-западного Кавказа изучены недостаточно. В свободной работе Б. М. Келлера<sup>(2)</sup> описаны главнейшие текстурные и структурные признаки пород, но по минералогии осадков приведен очень скудный материал, не позволяющий сделать сколько-нибудь существенных палеогеографических выводов.

В последнее время петрография песчано-алевритовых пород верхнего сенона была изучена авторами в следующих пунктах: р. Пшиш, р. Псекупс (в данном пункте анализы были выполнены И. С. Мустафаевым), р. Абин, р. Убин, р. Хабль на северном склоне и в районе Новороссийска и Геленджика на южном склоне Кавказа. По р. Хабль и Убин исследованию подвергались прослои песчаных пород среди известняков верхнего сенона. Во всех остальных пунктах изучались первые элементы флишевых ритмов.

Флишевые ритмы (многослои) сенона начинаются обычно с алевритов, реже с песчаников, переходящих кверху в алевролиты. Вторые элементы ритмов (многослоев) представлены светлыми мергелями и известняками. Минералогический состав первых элементов ритмов по всей изученной территории довольно однообразен, несколько различаясь лишь на северном и южном склонах. Вся эта территория принадлежит одной терригенно-минералогической провинции, а участки, примыкающие к северному и южному бортам флишевого трога, следует называть подпровинциями.

В северной терригенно-минералогической подпровинции отмечены следующие особенности минералогического состава тяжелых фракций алевритовой составляющей пород. Магнетит—зерна неправильной формы, серого цвета. Илменит представлен чаще округленными зернами, иногда лейкоксенизированными. Черные рудные минералы встречаются в количествах 2—18%. В западных разрезах их больше, нежели в восточных. Пирит встречается до 10%, редко до 24%. Бурые гидроокислы железа—красно-бурые и охристые зерна неправильной формы. Есть псевдоморфозы по пириту (до 42%). Лейкоксен (нерудные непрозрачные минералы) в виде молочных, иногда оранжеватых зерен, чаще всего несколько корродированных. Отмечается в каждом образце в количестве от 4 до 47%, причем количество его возрастает к западу (в среднем от 17% по р. Пшиш до 33% по р. Абин). Гранат представлен бесцветными, реже розоватыми и желтоватыми обломками неправильной формы, как чистыми, так и с шероховатой поверхностью, покрытой сетью мелких бороздок. Встречается в количестве 2—18%. Зерна турмалина отличаются большим разнообразием угловатые, неправильные и хорошо окатанные зерна и кристаллики призматического габитуса, плеохроирующие от бледнорозовых до буро-



вато-зеленых тонов). Изредка единичные зерна индиголита. От 0,4 до 7%. Рутил чаще угловато-окатанные зерна желтовато-коричневого (есть удлинённые зерна) и красно-бурого цветов. Реже кристаллы антарно-желтого цвета. От 1 до 6%. Анагиз встречается в виде желтовато-коричневых табличек, изредка до 2%. Брукит — таблички неправильной формы темнобурого цвета. Встречается редко, до 0,5%.

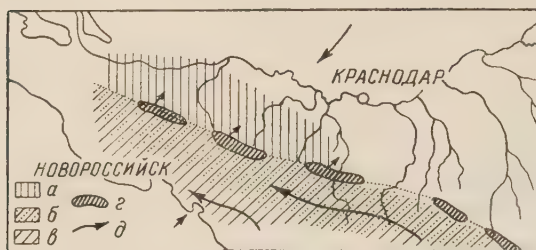


Рис. 1. а — Убинская терригенно-минералогическая провинция; б, в — флишевая терригенно-минералогическая провинция: б — северная подпровинция, в — южная подпровинция; г — суша, д — пути сноса и разноса терригенного материала

разце по р. Абин (0,2%). Кроме того, отмечено присутствие изредка небольших количествах карбонатов, апатита (р. Абин), слюд силиманита (р. Абин), андалузита (р. Пшиш), фосфатов (даллита и коллофанита), обломков карбонатных пород и органических остатков. Глаукофанит распространен в восточных разрезах (р. Пшиш до 50%). По р. Абину его очень мало.

Легкие фракции содержат следующие минералы: кварц в виде угловатых и угловато-окатанных зерен с включениями других минералов и пузырьков воздуха или газа. Некоторые зерна кварца трещиноватые, катаклазированные. Реже встречаются водяно-прозрачные зерна, без включений, менее окатанные, чем другие. Количество кварца колеблется от 35 до 76%, мало изменяясь по площади. Полевые шпаты представлены, главным образом, кислыми плагиоклазами и микроклинном, иногда с поверхности пелитизированными. От 6 до 16%. Глаукофанит — угловато-окатанные серовато-зеленые, реже яркозеленые зерна, по видимому терригенного происхождения. Кроме того, в легкой фракции встречаются обломки кремнистых пород тонкоагрегатного строения, обломки карбонатных пород (в значительных количествах, до 48%) в виде зерен неправильной формы и мусковит.

Южная подпровинция терригенно-минералогической провинции характеризуется несколько более свежим обликом минералов, а также отсутствием некоторых минералов, обычных для северной подпровинции, и иными количественными соотношениями минералов. Главнейшие различия сводятся к следующему.

Черные рудные минералы встречаются реже и в меньших количествах (до 14%). Пирит встречается чаще (до 67%). Обычные зерна его неправильной формы или угловато-окатанные. Бурый гидроксид железа встречается также в больших количествах в виде крупных зерен неправильной формы, явно эпигенетического характера. Группа устойчивых минералов является наиболее характерной для южной подпровинции. Общее количество их достигает иногда 55% тяжелой фракции.

Зерна гранатов несколько более окатаны; отсутствуют розовые и желтые разновидности (1,5—13,5%). Турмалины с поверхности чистые (от 2 до 5%). Среди зерен рутила отсутствуют красно-бурого цвета (1,5—9%). Кроме того, в тяжелых фракциях встречаются очень небольших количествах апатит (1—1,5%), брукит (0,7%)



дистен (призматические зерна с включениями черных рудных минералов, пузырьков воздуха или газа, с хорошо выраженной спайностью, от 0,2 до 0,7%), ставролит (0,2%), барит (0,4%), корунд (ед. зерна), хлорит (0,3%), глауконит (0,2—3,3%) и лейкоксен (до 23%) и фосфаты органического происхождения (в одном случае до 6,3%). Породообразующими компонентами легкой фракции являются кварц (33—90%) и обломки карбонатных пород (до 64,7%). Кварц более свежий, чем в северных разрезах, водяно-прозрачный, как окатанный, так и угловато-окатанный, иногда с включениями черных рудных минералов и игольчатых рутилов. Полевые шпаты также отличаются большей окатанностью. Встречаются плагиоклазы, микроклин и ортоклаз (2—7%). Кроме того, отмечаются в малых количествах кремнистые агрегаты и глауконит.

Минералогический состав песчано-алевритовых пород зоны карбонатных осадков верхнего сенона, распространенных севернее флишевой зоны, характеризуется наличием больших количеств дистена и ставролита и несомненно связан с другой терригенно-минералогической провинцией, которую мы предлагаем назвать Убинской (по расположению наиболее характерного разреза верхнего мела).

В тяжелой фракции отмечены следующие минералы: магнетит и ильменит (до 10,5%). Лейкоксен в виде угловато-окатанных зерен молочного и молочно-желтого цвета (12—18%). Пирит зарегистрирован в разрезе по р. Убин в количестве до 54%, в виде агрегатов неправильной формы и хорошо ограненных додекаэдров. Бурые гидроокислы железа встречаются в количествах от 3 до 9%. Зерна гранатов обычно бесцветные, угловатые и угловато-окатанные, с поверхности чистые, реже корродированные (4,5—21%). Турмалин представлен несколькими разновидностями — в виде обломков неправильной формы, призматических пластинок и овальных зерен разной величины. Плеохроируют они от светлорозового до буровато-зеленых тонов. Очень редки зерна голубого турмалина (0,6—6,4%). Среди зерен рутила здесь также отсутствуют красно-бурые разности (до 10,5%). Дистен выражен удлиненными кристаллами с хорошо выраженной спайностью (4,7—7,6%). Ставролит представлен как свежими, так и несколько выветрелыми зернами (2,2—10,9%).

Кроме того, отмечены анатаз, брукит, хлорит, барит, хлоритоид и апатит в количествах, не превышающих 1% и не в каждом анализе. Основным минералом легкой фракции является кварц (более 75%), зерна которого отличаются свежестью и угловатостью. Кроме того, встречаются полевые шпаты (угловато-окатанные зерна или призматические кристаллы ортоклаза и плагиоклазов до 17%), глауконит (до 3%), кремнистые агрегаты и хлорит.

Наблюдения над ориентировкой язычковых гиероглифов показали, что в начальный период отложения флишевых ритмов течения имели общекавказское направление, вдоль флишевого трога. Ориентировка же наклона косых слоев менее четкая, нежели гиероглифов. Повидимому, в дальнейшем течения теряли свою определенность и часто меняли в известных пределах свое направление и интенсивность. Это вело к тому, что терригенный материал, поступающий во флишевый бассейн, разносился по всей его ширине, попадая в небольшом количестве и в центральную часть прогиба.

Это привело к однообразию минералогического состава по простиранию прогиба и изменению его вкост простирания. Состав легких фракций песчано-алевритовых пород, в которых существенную роль, кроме кварца, имеют обломки карбонатных пород, указывает скорее всего на заимствование материала из более древних осадочных толщ. Обогащенность тяжелых фракций наиболее устойчивыми минеральными видами при почти полном отсутствии легко разрушаемых компонентов

и сравнительно хорошая окатанность материала также говорят о многократном переотложении. По нашему мнению, искать источники сноса среди кислых интрузивных пород <sup>(2)</sup> нельзя. Это подтверждается сравнительно большой выветрелостью материалов, особенно в северной подпровинции.

Источниками сноса, судя по распределению терригенного материала в бассейне (минимум в середине прогиба и максимумы в краевых зонах) <sup>(1, 2)</sup> и по текстурным и минералогическим особенностям осадков, являлись, повидимому, цепи островов — кордильер (продолжение на запад Адыгейского поднятия), располагавшихся на границе флишевого бассейна и более северного, принадлежащего к зоне северного склона <sup>(2)</sup>.

Некоторые минералы поступали в бассейн только с северной цепи островов (пильчатый ставролит, розовый и желтый гранит, красно-бурый рутил, сфен и др.), что придало своеобразный облик северной терригенно-минералогической подпровинции флишевого бассейна.

Для южной подпровинции характерна бедность минеральными веществами при господстве устойчивых минералов. Источник сноса располагался южнее и юго-восточнее флишевого трога. Убинская терригенно-минералогическая провинция связана с крупным бассейном, располагавшимся севернее флишевого прогиба. Нами изучены наиболее южные участки этого бассейна. Характерными чертами минералогического состава песчано-алевритовых пород и нерастворимых остатков этой провинции является повышенное содержание кварца, дистена и ставролита при отсутствии малоустойчивых компонентов. Повидимому, терригенный материал заносился сюда в очень небольших количествах (в известняковой толще сенона прослой песчано-алевритовых пород очень редки) в основном с севера, но некоторое значение мог иметь и размытый кордильер, отделявший флишевый прогиб от переднего прогиба Кавказской геосинклинали. Разное количество терригенного материала, поступившего с этой цепи островов на север и на юг, может быть объяснено особенностями рельефа островов, а также различиями в геотектоническом режиме прогибов.

Поступило  
3 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Б. Вассоевич, Условия образования флиша, М., 1951. <sup>2</sup> Б. М. Келлер, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 48 (1947).

ПЕТРОГРАФИЯ

В. П. ФЛОРЕНСКИЙ и И. М. ВАРЕНЦОВ

**К ВОПРОСУ О ПАЛЕОЗОЙСКОМ ВУЛКАНИЗМЕ НА ВОСТОКЕ  
РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

(Представлено академиком С. И. Мироновым 18 II 1954)

Среди кристаллических пород восточной части Русской платформы работами последнего времени<sup>(1-6)</sup> установлено широкое развитие основных разностей, среди которых выделяются два резко обособленных типа: а) породы, имеющие габбро-норитовый и близкий к ним состав, б) различные представители диабазовой группы. Если для первых из них условия образования еще далеко не ясны, то вторые, наоборот, представляют собой типично магматические породы\*.

Наличие диабазов представляет интерес, поскольку они являются самыми молодыми магматическими породами востока Русской платформы. Для некоторых из них нижняя возрастная граница — не старше среднего палеозоя, однако не исключена вероятность их более юного возраста (верхнепалеозойского — нижнемезозойского), что, как известно, имеет место на Украине<sup>(4)</sup>. На палеозойский, а не на докембрийский возраст значительной части этих пород с полной очевидностью указывают условия их залегания — они секут палеозойские осадочные породы<sup>(2, 3, 5)</sup>.

В задачу настоящей заметки входит краткая петрографическая характеристика диабазовых пород, встреченных при проведении глубокого бурения к югу от г. Бирска Башкирской АССР. В этом районе встречены диабазовые породы двух, значительно отличающихся друг от друга разновидностей, занимающих различное положение в разрезе. Верхние диабазы залегают на глубине 2500—2600 м, причем ниже и выше них располагаются нормальные осадочные породы, относящиеся к бавлинским слоям, т. е. к нижнепалеозойским по мнению одних исследователей, или к девонским по мнению других<sup>(1)</sup>.

Таким образом, возраст этих пород несомненно определяется как палеозойский, а не докембрийский, причем уточнение его обусловлено уточнением возраста всей бавлинской толщи в целом. Нижние диабазы залегают на глубине около 2700 м, причем забой скважины остановлен именно в этих породах: их возраст остается неясным. Эти породы довольно резко отличаются между собой и в петрографическом отношении, вследствие чего и дается их раздельное петрографическое описание.

Диабазы, залегающие на больших глубинах, представляют собой макроскопически плотные, темнозеленые, почти черные породы с едва различимыми простым глазом отдельными минералами без признаков порфиорового строения. Микроскопическое исследование указывает на их принадлежность к диабазам глубинного типа, близким к габбро-диабазам. Они обладают типичной офитовой структурой (см. рис. 1),

\* Распространение магматических разностей в фундаменте Русской платформы вообще не столь широко, как это представлялось ранее по аналогии с Украинской кристаллической грядой.



обусловленной резко выраженным идиоморфизмом плагиоклазов по отношению к пироксенам и роговой обманке; нарушение этого отмечается лишь в очень редких случаях.

Наиболее распространенными компонентами породы являются плагиоклазы, образующие таблитчатые и призматические зерна размером до 1 мм и выше. Для плагиоклазов характерно зональное строение колебаниями состава от  $N_{72}$  в центре до  $N_{55-60}$  на периферии. Детальное изучение плагиоклазов позволяет предполагать наличие двух генераций, причем к первой из них относятся основные плагиоклазы, обладающие более правильной формой, хотя и имеющие иногда меньшие размеры. Плагиоклазы второй генерации, относясь в массе к кинлому лабрадору ( $N_{50-55}$ ) и даже частично к основному андезину, обладают меньшим идиоморфизмом, часто включая в себя зерна плагиоклазов первой генерации.

Из числа темноцветных компонентов породы заметно преобладает моноклинный пироксен. Его зерна, достигая размера также 1—2 мм, явно ксеноморфны по отношению к плагиоклазу, выполняя интерстиции между зернами последнего или включая их в себя. Пироксен бесцветен, его оптические константы, ( $c : N_g = 40 \div 46^\circ$ ;  $+2 V = 45 \div 50^\circ$ ,  $N_g - N_p = 0,025$ ), указывают на принадлежность его к авгиту.

Вторым темноцветным компонентом является роговая обманка, обладающая специфическим плеохроизмом в буроватых тонах. Она только изредка образует самостоятельные зерна, являясь в этом случае ксеноморфной по отношению к плагиоклазам и пироксенам. В большинстве случаев бурая роговая обманка обрастает пироксеном, окаймляя его зерна и, видимо, частично замещая.

Третьим темноцветным компонентом является биотит, который присутствует в породе в очень небольшом количестве, окаймляя зерна пироксенов и роговой обманки. Его оптические константы отвечают небольшим разностям этого минерала. Интересно, что в ряде случаев создается впечатление об образовании биотита за счет хлорита, что может быть связано с процессами последующего изменения пород.

Помимо указанных выше железо-магнезиальных компонентов, в породе встречаются псевдоморфозы, видимо по оливину, внешний облик которых напоминает его зерна с характерными для этого минерала углами между гранями; выполнены они агрегатом минеральных образований хлорито-серпентинового типа с признаками петельчатой структуры, что характерно для оливина. В небольшом количестве присутствует мелкочешуйчатый бесцветный минерал с высокими интерференционными тонами, напоминающий тальк. Количество таких псевдоморфоз в породе невелико, причем они обладают явным идиоморфизмом по отношению к плагиоклазам, что находится в полном соответствии с более ранним выделением оливина. Из числа акцессорных минералов в породе встречаются титано-магнетит и апатит, причем рудный минерал ксеноморфен не только по отношению к плагиоклазам, но и к пироксенам.

Среди эпимагматических минералов следует отметить широкое развитие хлоритов и волокнистой вторичной роговой обманки типа уральита, которые являются, как и всегда, продуктом разрушения железно-магнезиальных минералов. Кроме того, эти минералы образуют самостоятельные выделения, располагаясь в интерстициях между зернами ранее образовавшихся минералов. Их возникновение, по видимому, связано с последними стадиями формирования диабазов.

В качестве продукта изменения пироксенов и роговой обманки по трещинам и периферическим участкам зерен этих минералов наблюдается зеленовато-бурая, чешуйчатая, слюдоподобная масса с явным плеохроизмом в зеленовато-желтых тонах и высокой интерференционной окраской; по своим константам данный минерал ближе всего к боулингиту.



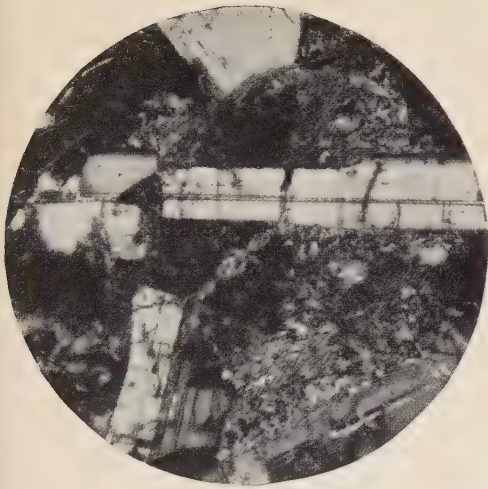


Рис. 1. Диабазы офитовой структуры.  
×60; николи +



Рис. 2. Микропегматитовый участок, окаймляющий идиоморфный кристалл плагиоклаза. Диабаз. ×100; николи +

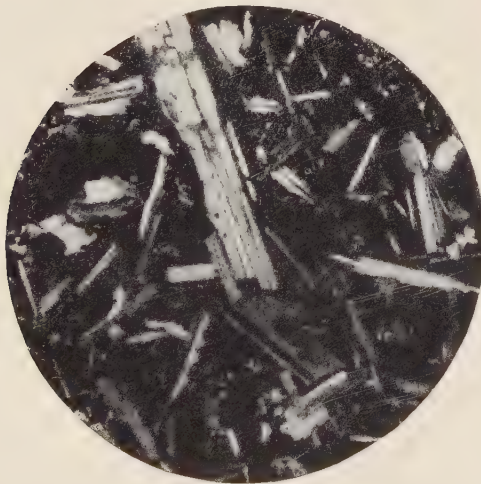


Рис. 4. Палеодолерит с порфировой структурой. ×60; николи +



Наконец, следует отметить наличие в породе микропегматитовых участков, окружающих зерна плагиоклазов, пироксенов и заполняющих промежутки между ними. Для породы характерны микропегматитовые выделения, окаймляющие идиоморфные зерна плагиоклаза (см. рис. 2). Количество подобных образований непостоянно и меняется в различных образцах.

Список всех встреченных в породе минералов с указанием последовательности их кристаллизации приведен на прилагаемой схеме, построение которой не требует пояснений (см. рис. 3).

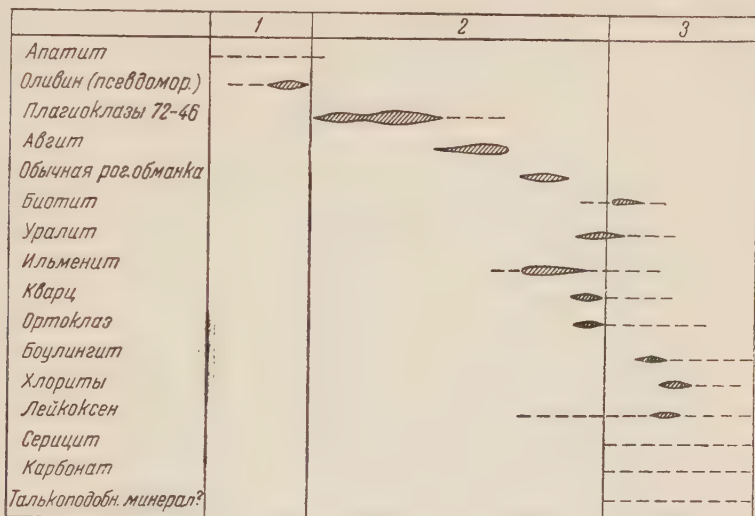


Рис. 3. Последовательность выделения минералов в диабазах

Магматические породы, залегающие выше, среди осадочной толщи, существенно отличаются от только что описанных диабазов. По своему внешнему виду они представляют мелкозернистые породы, окрашенные в красновато-коричневые тона. Структурные особенности этой породы указывают на ее кристаллизацию, видимо в поверхностных условиях или, во всяком случае, в жилах, залегающих близко к поверхности земли. Зерна плагиоклаза здесь составляют в среднем 0,3—0,4 мм. Они образуют резко удлиненные кристаллы, иногда срастающиеся в сростки, близкие по форме к сферолитам (см. рис. 4); имеются также единичные зерна, приближающиеся к порфировидным «вкрапленникам».

Общий облик структуры породы близок к интересеральной, местами к долеритовой. Сама порода, несомненно, близка к долериту; учитывая значительную разрушенность, ее следует назвать, видимо, палеодолеритом.

Основными компонентами породы являются плагиоклазы, относящиеся к ряду лабрадора ( $N = 50-65$ ), пироксен типа авгита ( $+2 V = 45^\circ$ ;  $N_g - N_p = 0,025$ ), обычно сильно разрушенный и иногда почти нацело перешедший в кальцит. Рудный минерал, количество которого в породе относительно велико, иногда образует сростки скелетного типа. Наконец, в породе наблюдаются участки, выполняющие промежутки между зернами, сложенные агрегатом вторичных минералов; основные особенности породы мы видим на прилагаемой фотографии (рис. 4). Следует отметить, что описываемая порода сечется прожилками кальцита с выделением рудных минералов типа гематита. В расположении этих двух минералов в пределах трещин иногда наблюдается зональность — чередование зон, сложенных то кальцитом, то резко обогащенных гематитом.

Приведенные химические анализы (см. табл. 1) и магматическая формула Левинсон-Лессинга указывают на принадлежность первых описанных пород к кварцевым диабазам. Химический состав палеодолерита несколько необычен, в частности, он характеризуется более высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  и повышенным количеством  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ . Еvidently, эти особенности связаны с сильной разрушенностью породы.

Таблица 1

Химический состав и магматические формулы по Ф. Ю. Левинсон-Лессингу кварцевых диабазов и палеодолеритов восточной части Русской платформы\*

	Кварцевый диабаз обр. 5-14	Палеодолерит обр. 5-5
$\text{SiO}_2$ . . . . .	53,22	43,66
$\text{TiO}_2$ . . . . .	1,32	2,20
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	13,58	22,42
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	4,16	1,46
$\text{FeO}$ . . . . .	7,90	1,65
$\text{MnO}$ . . . . .	0,02	0,12
$\text{MgO}$ . . . . .	6,67	5,48
$\text{CaO}$ . . . . .	8,60	10,31
$\text{Na}_2\text{O}$ . . . . .	1,85	4,27
$\text{K}_2\text{O}$ . . . . .	0,20	0,83
$\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . .	0,61	0,45
П. п. п. . . . .	1,75	7,80
Сумма . . . . .	99,88	100,65
Гигроскопия . . . . .	нет	0,20
Магматич. формула . . . . .	$2,82\overline{\text{RO}} \cdot \text{R}_2\text{O}_3 \cdot 5,75 \text{SiO}_2$ $\text{R}_2\text{O}:\text{RO} = 1:13,00$ $\alpha = 1,91$ $\gamma = 1,46$	$1,8\overline{\text{RO}} \cdot \text{R}_2\text{O}_3 \cdot 3,47 \text{SiO}_2$ $\text{R}_2\text{O}:\text{RO} = 1:4,28$ $\alpha = 1,32$ $\gamma = 1,13$

\* Аналитик Б. В. Бальшина.

В заключение необходимо отметить еще раз, что наличие магматических пород среди палеозойских отложений Русской платформы является следствием длительной вулканической жизни, продолжавшейся в палеозое, причем подобные явления носят, несомненно, региональный характер для всей платформы, а не ограничиваются лишь участками прилегающими к Украинскому кристаллическому массиву, как это предполагалось ранее.

Поступило  
15 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. А. Бакиров, К геологии центральных областей Русской платформы, ДАН, 1951. <sup>2</sup> Л. Б. Бирина, ДАН, 88, № 5 (1953). <sup>3</sup> А. Г. Завидонов, М. М. Веселовская, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1952). <sup>4</sup> Стратиграфия СССР, 1, Докембрий СССР, Изд. АН СССР, 1939. <sup>5</sup> Б. А. Успенский, ДАН, 85, № 2 (1952). <sup>6</sup> В. П. Флоренский, Т. А. Лапинская, ДАН, 84, № 1 (1952); 83, № 1 (1952).



Е. Н. АНАНОВА

**СПОРЫ *OSMUNDA CINNAMOMEA* L. В МЕЖЛЕДНИКОВЫХ  
МИНДЕЛЬ-РИССКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ У г. ЛИХВИНА \***

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 27 I 1954)

Ископаемые остатки, принадлежащие папоротнику *Osmunda*, до сих пор были известны лишь из мезозойских и третичных (палеоген, миоцен) отложений в различных районах Советского Союза. Ни в плиоцене, ни в четвертичных отложениях ископаемых остатков *Osmunda* не находили. Однако представители этого рода обитают и в настоящее время на территории Советского Союза: *Osmunda regalis* L. (на Кавказе) и *O. cinnamomea* L. (на Дальнем Востоке).

Мы тщательно изучали ископаемую пыльцу из озерной межледниковой толщи знаменитого обнажения у г. Лихвин на Оке по материалам К. А. Ушко (Географический институт Московского университета). Это обнажение всесторонне изучалось многими палеонтологами и ботаниками. Однако ископаемые остатки (споры) *Osmunda* здесь обнаружены первые.

Ископаемые споры *Osmunda* встречаются на всем протяжении озерной толщи, но чаще в нижней ее части в глинах темносерого цвета с еленоватым оттенком. В спорово-пыльцевом комплексе этой части озерной толщи господствует пыльца ели, достигающая 40—60% от всего количества пыльцы, с большой примесью пыльцы сосны и ольхи. Пыльца широколиственных пород составляет всего 5—12%. Таким образом, папоротник *Osmunda* был, повидимому, приурочен к влажным местобитаниям среди насаждений с преобладанием еловых лесов.

Ископаемые споры *Osmunda* с целью определения вида, которому они принадлежат, сравниваются нами со спорами ныне живущих *O. regalis* L. *O. cinnamomea* L. Сопоставление показало, что споры, обнаруженные нами в Лихвинской озерной толще, принадлежат папоротнику *O. cinnamomea* L.

Ниже приводится описание морфологии ископаемых спор *O. cinnamomea* L. и спор современных *O. regalis* L. и *O. cinnamomea* L.

Материал для приготовления эталонных препаратов отобран нами в ботаническом саду (O. regalis L.) и в гербарии Ленинградского университета (O. cinnamomea L. в определении И. М. Грушвицкого). Препараты приготовлены щелочным методом. Зарисовки спор произведены автором при помощи рисовального аппарата.

Ископаемые споры *Osmunda cinnamomea* L.  
(рис. 1, а, б, в)

Споры сфероидальной формы с трехлучевой щелью разверзания. Сфероидальность ископаемых спор часто нарушается за счет их смятия. Размеры спор колеблются в пределах от 45,1 до 53,5  $\mu$ . Эскизы тон-

\* В палеонтологической и геологической литературе принято именовать эти межледниковые отложения лихвинскими. Однако в последнее время г. Лихвин переименован в г. Чекалин.

кая, однослойная, толщиной 1,5—2,0  $\mu$ . Поверхность экзины снабжена шипиками столбиковидной формы с закругленными вершинами. В плане шипики имеют неодинаковые размеры. Трехлучевая щель ясно очерчена. Лучи немного не достигают краев споры. Ископаемые споры *O. cinnamomea* L. не являются редкостью в описываемых отложениях, встречаются в каждом препарате в количестве 5—12 шт. на одном стекле. Цвет спор прозрачно-серый.

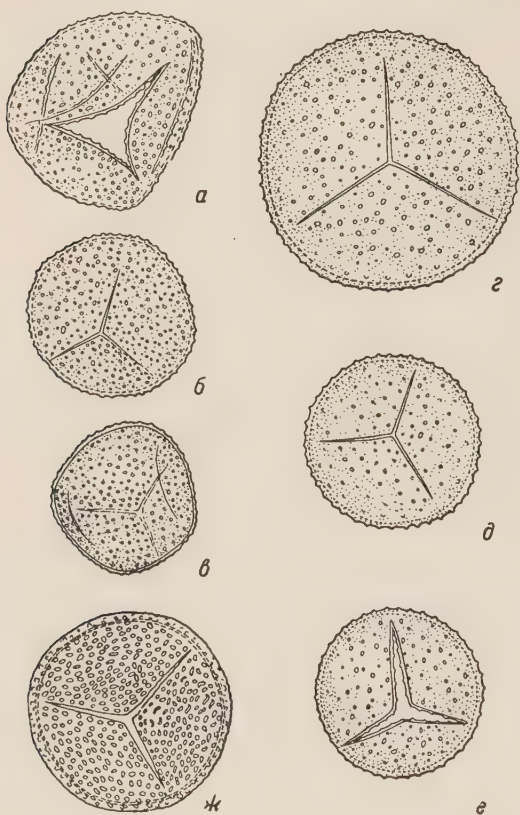


Рис. 1. а, б, в — ископаемая пыльца *O. cinnamomea* L.; г, д, е — рецентная пыльца *O. cinnamomea* L.; ж — рецентная пыльца *O. regalis* L.

ная. Поверхность ее покрыта более или менее равномерно расположенными стекловидными шипиками, заметно, выдающимися над общей поверхностью экзины. Шипики в плане имеют угловато-округлые очертания. Длина их более или менее одинаковая, не более 11,5—2,0  $\mu$ . Они представляют собой столбиковидные выросты с закругленной вершиной. Щель разверзания у различных спор принимает различные очертания в зависимости от степени сомкнутости ее лучей. Лучи споры обычно немного доходят до краев споры. Цвет после обработки желтовато-серый.

#### Споры *Osmunda regalis* L. (рис. 1, ж)

Основной план строения спор тот же, что и у *O. cinnamomea*, т. е. споры сфероидальной формы с трехлучевой щелью. Размеры спор колеблются от 45 до 60  $\mu$ , очень редко 65,6  $\mu$ . Наиболее часто встречаются споры диаметром 45—53  $\mu$ . Экзина толстая, 3,0—3,5  $\mu$ , двуслойная. Внутренний слой экзины в 3—4 раза тоньше наружного. Поверхность экзины покрыта более или менее равномерно густо расположенными бугорчатыми выростами неправильной формы, которые очень слабо выдаются над общей поверхностью экзины. Часто эти выросты сливаются

Споры двух ныне живущих видов уже описаны М. А. Седовой (1). Однако диагноз видовых особенностей дан очень кратко. М. А. Седова считает, что споры *O. cinnamomea* L. «...отличаются от спор *Osmunda regalis* L. меньшим размером, соответственно меньшей величиной бугорчатыми выростами на экзине». Но для видовых определений необходимо более подробное описание морфологии каждого вида, которые мы и даем здесь.

#### Споры *Osmunda cinnamomea* L. (рис. 1, г, д, е)

Споры сфероидальные с трехлучевой щелью разверзания. Размеры спор колеблются примерно в тех же пределах, что указаны М. А. Седовой: 40,2 до 55  $\mu$  и даже 60  $\mu$ . Наиболее часто встречаются споры диаметром 44—52  $\mu$ . Экзина тонкая, 1,76—1,98  $\mu$ , однослойная.

вместе. Они, таким образом, не имеют вида шипиков, как у *O. cinnamomea*. Поэтому край споры имеет лишь мелко-волнистое очертание. Щель разверзания немного не достигает края споры. Цвет желтый.

Найденные нами ископаемые споры, безусловно, больше похожи на споры *O. cinnamomea* L., соответствуя всем морфологическим особенностям последних.

Нахождение спор *O. cinnamomea* L. в межледниковой озерной толще у г. Лихвина интересно тем, что здесь ранее В. Н. Сукачевым <sup>(2)</sup> были найдены семена *Euryale ferox* L., а теперь нами найдена еще пыльца *Brasenia Schreberi* J. F. Gmel. Все указанные растения (*Osmunda cinnamomea* L., *Euryale ferox* L. и *Brasenia Schreberi* J. F. Gmel.) сохранились в настоящее время в пределах Советского Союза только на Дальнем Востоке.

В раннечетвертичное время, как показывают палеоботанические данные, они были распространены и в Европейской части СССР.

Поступило  
27 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. А. Седова, Пыльцевой анализ, М., 1950, стр. 112. <sup>2</sup> В. Н. Сукачев, Растительность СССР, I, 1938, стр. 183.





ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Н. И. ПЬЯВЧЕНКО

**О ПРИРОДЕ НИЖНЕГО МАКСИМУМА ПЫЛЬЦЫ ЕЛИ  
В ТОРФЯНИКАХ**

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 10 II 1954)

Пыльцевые диаграммы наиболее древних торфяников центральных и отчасти северо-западных областей Европейской части СССР характеризуются нижним и верхним максимумами пыльцы ели. Первый соответствует субарктическому и второй — субатлантическому периодам Бланта — Сернандера. По новому делению голоцена, предложенному М. И. Нейштадтом <sup>(11)</sup>, субарктический период соответствует по времени древнему, а субатлантический — позднему голоцену. Оба максимума принято рассматривать как показатель распространения еловых лесов. Но в отношении нижнего максимума нет еще единства мнений в оценке степени облесенности страны и установлении типа ландшафтов в период «нижней» ели. Так, Д. А. Герасимов <sup>(2, 3)</sup>, Г. А. Благовещенский и К. К. Марков <sup>(1)</sup>, Н. Я. Кац <sup>(8)</sup>, К. И. Солоневич <sup>(12)</sup>, В. Н. Сукачев и Г. И. Поплавская <sup>(14)</sup> и другие исследователи стоят на точке зрения не сплошной облесенности территории в фазу «нижней» ели. Противоположную точку зрения заняли в последнее время М. И. Нейштадт <sup>(11)</sup> и Г. Н. Лисицына <sup>(9)</sup>, но и они делают оговорку о значительном участии в растительном покрове травянистых растений.

Изучение литературного материала и наши собственные исследования позволяют сделать вывод, что пыльцевые спектры древнего голоцена гораздо ближе к тундровым и лесотундровым, чем к лесным. Иными словами, островные еловые или елово-березовые леса (скорее редколесья) были типичным элементом ландшафта древнего голоцена. Весьма веским аргументом в пользу этой концепции служит наличие пыльцы лиственницы в отложениях древнего голоцена в северо-восточных областях Европейской России, на Урале и в таежной зоне Западной Сибири.

Известно, что лиственница и ель образуют у нас северную границу хвойных древесных пород. Севернее встречаются только карликовая береза и кустарная ольха. Повидимому, ель и лиственница вместе с березой являлись основными компонентами и приледниковой растительности, так как биологические особенности этих пород позволяли им произрастать при неглубоком залегании в грунтах вечной мерзлоты. Там, где мерзлоты не было или она залегала глубоко, в составе приледниковой древесной растительности господствовала сосна.

Правильность нашего вывода подтверждается палеогеографической картой древнего голоцена, приведенной в работе М. И. Нейштадта <sup>(11)</sup>. Из этой карты видно, что в Прибалтике и Белоруссии, т. е. в районах с более влажным климатом, не способствовавшим накоплению и длительному сохранению мерзлоты в почве, в древнем голоцене господствовала сосна. В центральных и северных районах Европейской России с более континентальным климатом, благоприятствовавшим сохранению

мерзлоты, главную роль играла ель, а в районах Приуралья и Урала, в еще более континентальных условиях, — ель и лиственница.

В средней Европе, где вечной мерзлоты, повидимому, не было, первая стадия — послеледниковых лесов — была представлена березово-сосновыми лесами субарктического характера <sup>(8)</sup>. В континентальных районах Северной Америки <sup>(15)</sup> наиболее важным пионером древесной растительности у края плейстоценового оледенения была ель, нередко с пихтой. В области же Великих озер и на побережье Атлантики, т. е. в условиях более влажного климата и отсутствия мерзлоты, наиболее ранним пришельцем была сосна, селившаяся с елью и пихтой.

Из сказанного вытекает, что господство в древнем голоцене ели, а на востоке и лиственницы, может быть объяснено влиянием вечной мерзлоты почвы.

Вследствие весьма широкой экологической амплитуды сосна имеет много преимуществ перед елью, позволяющих ей быстрее расселяться и захватывать новые территории. В отличие от сосны, ель предъявляет определенные требования к влажности воздуха и почвы, нуждается в большем богатстве почвы, в молодом возрасте растет медленнее сосны и на открытых местах страдает от весенних заморозков. Тем не менее, при неглубоком залегании в грунтах вечной мерзлоты ель далее сосны проникает на север. Расселению ели в этих условиях, вероятно, благоприятствует не только ее поверхностная корневая система, но также и способность к образованию на стволе придаточных корней, что гарантирует сохранение дерева в случае некоторого «поднятия» вечной мерзлоты. Что касается сосны, то по Б. Н. Городкову <sup>(4)</sup> близкая к поверхности вечная мерзлота препятствует ее распространению. Карты распространения древесных пород СССР, приложенные к курсам дендрологии В. Н. Сукачева <sup>(13)</sup> и Б. В. Гроздова <sup>(6)</sup>, показывают, что сосна достигает северного предела деревьев только в западной части Европейского севера, где вечная мерзлота отсутствует или имеет незначительное распространение. На востоке Европейского севера и повсюду за Уралом в условиях сплошной вечной мерзлоты граница сосны значительно перемещается к югу.

На этом основании мы не можем согласиться с мнением некоторых исследователей, что приледниковая растительность объединяла в себе растения тундр, озер и болот, хвойных и лиственных лесов, степей, солончаков и щебнистых склонов <sup>(5)</sup>. Признавая реальность четвертичных покровных оледенений, мы должны исходить и из реальной климатической обстановки, создававшейся этими явлениями. По подсчетам Брукса <sup>(10)</sup>, на ледниковых покровах понижение температуры могло достигать 25°. Несомненно, и на периферии тающего ледника температурный режим был крайне неблагоприятен для распространения степных растений. Надо полагать, что в связи с низкой температурой насыщенность воздуха водяными парами была высокой, подобно нынешней тундре и лесотундре. Это обстоятельство никак не могло создавать степной обстановки, благоприятствовавшей распространению ксерофильных полыней и эфедры (*Ephedra vulgaris* Rich.). Нет также оснований предполагать, что экология названных растений в период последнего оледенения была другая. Гораздо более вероятным является предположение, что пыльца южных полыней и эфедры в ленточных глинах под Ленинградом, так же как и пыльца широколиственных древесных пород, пересотложена из межледниковых отложений. Наличие же пыльцы ели, вересковых, плодов карликовой березы и альпийской толокнянки, лиственничной дриады и полярных ив подтверждает вывод К. И. Солоневича <sup>(12)</sup> о тундровом и лесотундровом характере приледниковой растительности в пределах нынешней Ленинградской обл.

Конечно, нет доказательств существования тундры вдоль края Днепровского и Донского языков максимального оледенения, но нельзя забы-

вать и о том, что на Ньюфаундленде в Северной Америке тундра с вечной мерзлотой грунта в настоящее время спускается до 48° с. ш. (7).

В раннем голоцене (бореальном периоде Блитта — Сернандера) ель и лиственница уступают свое господство сосне. М. И. Нейштадт (11) указывает, что на Русской равнине исчезновение ели имело катастрофический характер и не наблюдалось ни для каких других пород ни в одном из других периодов голоцена. Он объясняет это повышением температуры и увеличением сухости климата, но указывает, что одновременно шло и наступление леса на степь, которая отодвинулась местами к югу на 300 км. Причина последнего не находит у Нейштадта объяснения.

Если исходить из нашей точки зрения о распространении остаточной вечной мерзлоты грунтов в фазе нижней ели, то последующая смена ели сосной и березой становится вполне понятной.

Исчезновение мерзлоты, происшедшее, повидимому, в условиях достаточно влажного климата, привело к усилению дренажа территории, что вызвало некоторое уменьшение относительной влажности воздуха. Это заставило ель переместиться с водоразделов на более влажные склоны и в долины. Та же основная причина обусловила быстрое распространение сосны и смену карликовой березы древовидными формами. В фазе сосны и березы облесенность страны увеличилась во много раз по сравнению с фазой нижней ели. Об этом наглядно свидетельствует возросшая устремляемость древесной пылицы (табл. 1).

Таблица 1

Абсолютное количество древесной пылицы на 1 см<sup>2</sup> препарата\*

Фазы	Торфяник «Галицкий мох»	Торфяник Горбунов- ский	Торфяник Гальянский	Озеро Карасье	Торфяник Горно-Слин- кинский
Нижней ели .	5—11	0,3—10	3—7	8—15	6—7
Березы и сос- ны . . . . .	26—64	50—347	40—211	153—309	108—141

\* Цифровые данные для торфяника «Галицкий мох» приведены по Д. А. Герасимову (2), для Горбуновского и Гальянского торфяников и оз. Карасье — по В. Н. Сукачеву и Г. И. Поплавскому (14), для Горно-Слинкинского торфяника — по нашим исследованиям.

Таким образом, ель не исчезла и не была вытеснена сосной и березой, а просто «растворилась» в массе пришельцев, расселению которых ранее препятствовала мерзлота грунтов.

Увеличение количества осадков не только способствовало быстрому исчезновению мерзлоты, но и обусловило продвижение лесов к югу. Это же обстоятельство благоприятствовало и сильному развитию в раннем голоцене (бореальном периоде) процесса накопления торфа, в частности фагового. Исчезновение мерзлоты и усиление дренажа территории привело к обмелению и заболачиванию ряда озер, а возросшая влажность климата (количество осадков) обусловила развитие процесса торфонакопления в разнообразных понижениях на суше, нередко занятых до этого древесной растительностью.

Рассмотрение вопроса о природе «нижней» ели в среднерусских торфяниках позволяет нам сформулировать следующие основные выводы.

1. Распространение ели и лиственницы в древнем голоцене, дающее на пылевых диаграммах нижний максимум этих пород, было связано со значительной суровостью климата названной фазы и наличием на небольшой глубине в грунтах остаточной вечной мерзлоты. В районах с более мягким климатом господствовала сосна.



2. Наличие вечной мерзлоты и незначительная общая облесенность территории во время «нижней» ели указывают на островной характер распространения древесной растительности, обусловивший возникновение ландшафта лесотундры со свойственным ему климатическим режимом.

3. Фаза «нижней» ели, связанная с перемещающейся полосой приледниковой вечной мерзлоты, представляет понятие динамическое. Еловые или елово-лиственничные редколесья с карликовой березой продвигались к северо-западу вслед за отступающим ледником, а на эти редколесья, по мере деградации мерзлоты, с юга наступали сосново-березовые леса. Поэтому «нижняя» ель, например, в Подмоскovie и в Прибалтике является разновозрастными, так же как разновозрастны и сами отложения, характеризующиеся сходными пыльцевыми спектрами «нижней» ели.

4. Сравнительно быстрое исчезновение остаточной вечной мерзлоты явилось причиной кратковременности фазы нижней ели. По мере деградации мерзлоты ель перемещалась в соответствующие ее экологии местообитания. Но возросшее во много раз количество пыльцы сосны и березы при том же или даже несколько возросшем количестве еловой пыльцы дали на диаграммах ложную картину быстрого вытеснения ели.

5. В результате усиления циклонической деятельности в раннем голоцене увеличилось количество атмосферных осадков. Это обусловило развитие «суходольного» заболачивания в пониженных элементах рельефа, продвижение лесов в ранее степные области. Усиление же дренажа в результате деградации вечной мерзлоты привело к понижению уровня озера и последующему превращению их в торфяники.

Институт леса  
Академии наук СССР

Поступило  
10 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. А. Благовещенский, К. К. Марков, Пробл. физ. геогр., 5 (1938).  
<sup>2</sup> Д. А. Герасимов, Изв. Главн. бот. сада, 25, в. 4 (1926). <sup>3</sup> Д. А. Герасимов, Почвоведение, № 2 (1926). <sup>4</sup> Б. Н. Городков, Сборн. Вечная мерзлота, Изд. АН СССР, № 80 (1930). <sup>5</sup> В. П. Гричук, М. П. Гричук, Вопр. геогр., № 23 (1950). <sup>6</sup> Б. В. Гроздов, Дендрология, 1952. <sup>7</sup> А. П. Ильинский, Растительность земного шара, 1937. <sup>8</sup> Н. Я. Кац, Болота и торфяники, М., 1946. <sup>9</sup> Г. Н. Лисицина, Изв. АН СССР, сер. геогр., № 2 (1953). <sup>10</sup> К. К. Марков, Палеогеография, М., 1951. <sup>11</sup> М. И. Нейштадт, Изв. АН СССР, сер. геогр., № 1 (1953). <sup>12</sup> К. И. Солоневич, Сов. бот., 13, в. 2 (1945). <sup>13</sup> В. Н. Сукачев, Дендрология с основами лесной геоботаники, изд. 2, Л., 1938. <sup>14</sup> В. Н. Сукачев, Г. И. Поплавская, Бюлл. Комиссии по изуч. четвертичн. периода, № 8, 1946. <sup>15</sup> J. E. Potzger, The Ohio J. of Science, 51, No. 3 (1951).



М. Я. СУББОТИН

## К ВОПРОСУ О ЛИМФАТИЧЕСКИХ СОСУДАХ В САЛЬНИКЕ КРОЛИКА

(Представлено академиком А. И. Абрикосовым 5 II 1954)

Вопрос о том, существуют ли лимфатические сосуды в сальнике человека и некоторых млекопитающих, до настоящего времени не решен. Наряду с исследователями, решающими этот вопрос отрицательно, некоторые авторы высказываются в пользу признания в сальнике лимфатической сети, которая резорбирует различного рода инородные тела из брюшной полости. И. А. Великоречин <sup>(1)</sup> выявил инъекцией массы Герота лимфатические сосуды в большом сальнике человека. Исследования Д. А. Жданова, проведенные на кошках и собаках, привели его к выводу, что введенные в брюшную полость трипановая синь, колларгол и взвесь туши инъецируют лимфатическую сеть сальника <sup>(2)</sup>.

Настоящее исследование представляет попытку выявить непосредственно эндотелий лимфатических капилляров сальника. Я полагаю, что только таким путем можно окончательно решить этот вопрос, тем более, как правило, эндотелий лимфатических капилляров весьма характерен. Уместно вспомнить, что именно так были выявлены лимфатические сети диафрагмы, причем полученные картины совпали с изображением этих сетей, получаемых при инъекции различных красок. Наблюдения были проведены на взрослых кроликах, о существовании в сальнике которых лимфатических сосудов также нет единства мнений.

Для выявления эндотелиальных клеток была применена импрегнация серебром с последующей докраской триоксигематейном Ганзена — лихт-грюном. С этой целью 0,25% раствор серебра в одних случаях наносился на поверхность сальника, в других — инъецировался в толщу его в области млечных пятен и кровеносных сосудов (инъекция в области собственно сети практически невозможна). В обоих случаях получены одни и те же результаты.

Импрегнация выявляет два типа границ клеток в сальнике. В одном случае выявляются обычные границы между мезотелиальными клетками на обеих поверхностях сальника. Между этими двумя мезотелиальными листками расположена тончайшая прослойка соединительной ткани, представленная основным веществом с сетью коллагеновых волокон и редко разбросанными макрофагами и фибробластами. Других клеток здесь не обнаружено. Таким образом, очевидно, что в этой, большей части сальника лимфатических сосудов нет.

Иная картина получается при импрегнации клеточных границ в области млечных пятен и кровеносных сосудов сальника. Четких, характерных для мезотелия границ выявить здесь не удастся — границы спутаны, иногда двойные, в некоторых случаях линия границы не замкнута (рис. 1 а на вклейке к стр. 1077). Такого рода картины весьма закономерны, причем в остальной части сальника одновременно импрегнируются типичные границы мезотелиальных клеток; это говорит о том, что в данном случае нет дефекта в импрегнационной технике.

Однако нельзя предположить, что здесь импрегнируются одновременно с мезотелием вплотную прилегающие к нему эндотелиальные клетки лимфатических лакун (как это имеет место, например, в некоторых участках диафрагмы). Это особенно убедительно видно на таких участках сальника, где одновременно с мезотелием млечных пятен можно видеть мезотелий остальной части сальника (рис. 1 б): при внимательном микроскопировании легко заметить, что «вторые» границы лежат в одной плоскости с границами мезотелиальных клеток.

Своеобразный рисунок клеточных границ в области млечных пятен кровеносных сосудов сальника обусловлен прежде всего массовым выходом макрофагов на поверхность. При рассматривании таких участков на срезах и в различных оптических сечениях на тотальных препаратах легким можно убедиться в том, что «двойной» рисунок клеточных границ возникает за счет макрофагов, проникающих между клетками мезотелия на поверхности сальника (подобные картины были впервые описаны С. И. Щелкуновым). Другие подобные участки представляют небольшие хромофильные безъядерные протоплазматические участки — «устыща»; здесь можно проследить постепенное отделение таких участков от мезотелиальных клеток (3).

При инъекции раствора  $\text{AgNO}_3$  одновременно и в толщу млечных пятен и околососудистых участков, помимо описанных выше границ поверхностных клеток, импрегнируются щели между макрофагами, образующими млечные пятна. Ни на тотальных препаратах, ни на срезах не удается видеть здесь сколько-нибудь правильных рисунков, указывающих на оформленные, выстланные эндотелием лакуны или сети. Как и при поверхностной обработке, импрегнируются границы клеток (здесь — макрофагов) и иногда значительная часть их эктоплазмы.

Вместе с тем при таком способе обработки весьма отчетливо выявляются кровеносные сосуды сальника. В артериолах, хорошо различимых благодаря палочковидным ядрам мышечных клеток, эндотелиальные клетки сильно вытянуты, в венах значительно меньше. Весьма типичны кровеносные капилляры — границы клеток в них не выявляются (не выявляются они и при инъекции раствора непосредственно в кровеносные сосуды); эндотелий имеет здесь ясно выраженный симпластический характер. В просвете капилляров всегда обнаруживаются эритроциты. Таким образом, примененная методика указывает на отсутствие лимфатических сосудов.

Для того чтобы выяснить, каким путем удаляются из сальника различные инородные вещества — взвеси и коллоидные растворы, были поставлены опыты с введением в брюшную полость взвеси берлинской сини и коллоидного раствора трипановой сини.

В опытах с берлинской синью сальник изучали через 2 часа, 2, 3, 7 суток после инъекции в брюшную полость 1% взвеси на физиологическом растворе из расчета 10 мл на 1 кг веса животного. В результате инъекции взвеси берлинской сини развивается типичное асептическое воспаление брюшины. При этом ни на одном из указанных сроков не наблюдались частицы берлинской сини в сосудах сальника, в то время как лимфатические сети диафрагмы были наполнены краской. Через 2 часа частицы берлинской сини обнаруживались на поверхности сальника, главным образом в области млечных пятен и кровеносных сосудов. Через сутки частично, а через двое и более суток полностью взвесь фагоцитируется макрофагами сальника и в значительно меньшей степени сегментоядерными лейкоцитами, мигрирующими из гиперемизированных кровеносных сосудов. Нагруженные краской фагоциты расположены как на поверхности, так и в толще млечных пятен сальника.

Таким образом, взвесь берлинской сини не выявляет в сальнике лимфатических сосудов и не проникает в кровеносные сосуды.

В других опытах в брюшную полость инъецировали 0.5% раствор

трипановой сини из того же расчета, что и в предыдущих экспериментах. Через 30 мин. после инъекции, и еще более отчетливо через 2 часа, вырисовывается сосудистая сеть, налитая краской. Рисунок этой сети, однако, вовсе не напоминает лимфатических сетей серозных оболочек, в частности диафрагмы, лимфатические сосуды которой одновременно налились трипановой синью. Для того чтобы выяснить, какие именно сосуды окрашиваются трипановой синью, сразу же после вскрытия брюшной полости сосуды сальника были выявлены путем введения раствора  $\text{AgNO}_3$  в толщу сальника. Раствор серебра при этом импрегнировал границы эндотелиальных клеток тех сосудов, которые были налиты трипановой синью. Оказалось, что это те же самые кровеносные сосуды, которые в предыдущих опытах были выявлены методом импрегнации. Очевидно, что трипановая синь выявляет только эти кровеносные сосуды и никаких лимфатических сосудов не инъецирует. Принадлежность описываемых сосудов к кровеносным подтверждается обилием в них эритроцитов и подтвержденной нами прямой связью с крупными кровеносными стволами сальника.

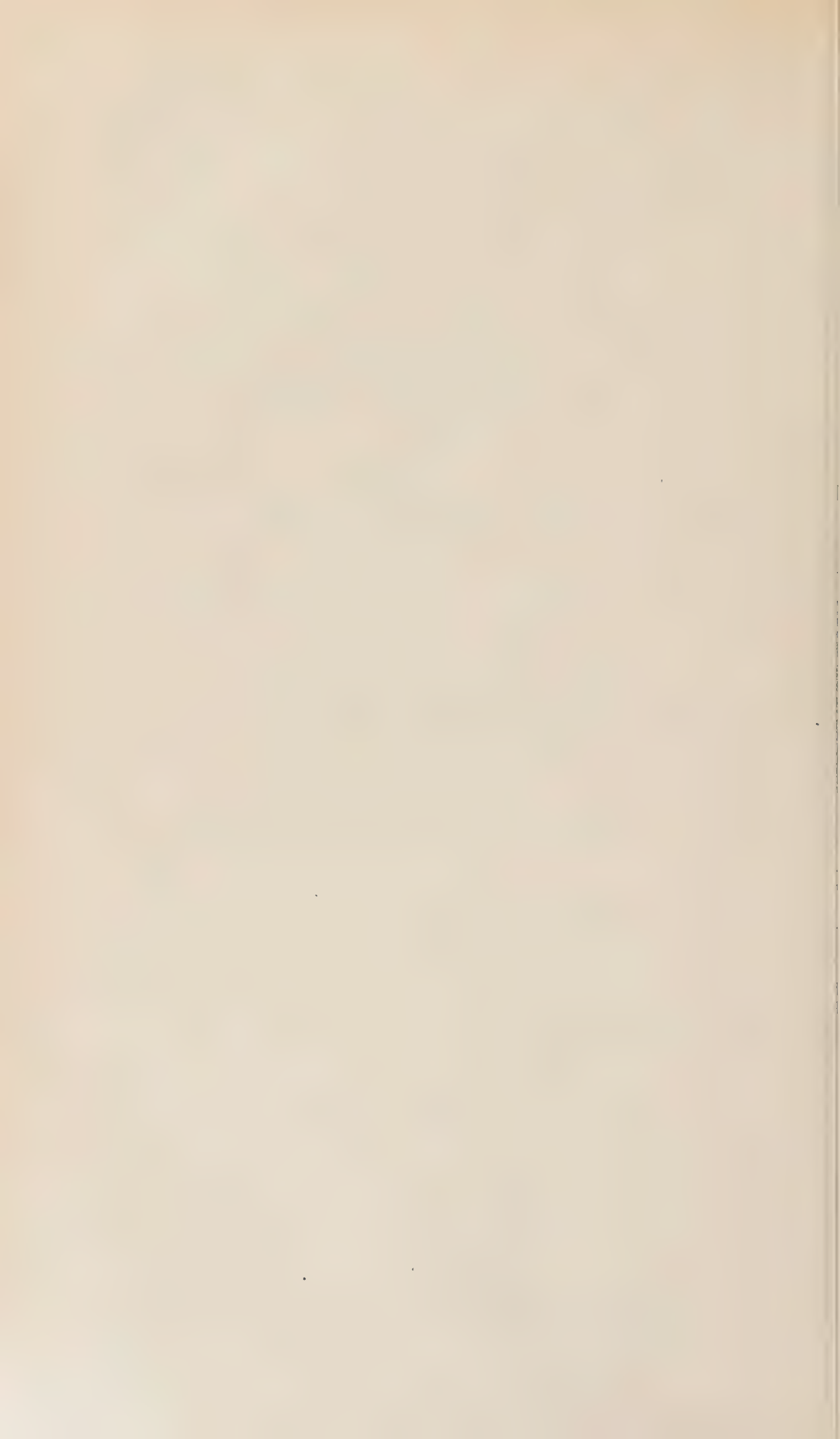
Изложенные данные позволяют сделать заключение об отсутствии в сальнике кролика лимфатических сосудов. Вместе с тем резорбция из брюшной полости введенных в нее коллоидных растворов в сальнике происходит в кровеносные сосуды, в то время как в других отделах серозной оболочки они всасываются преимущественно в лимфатические капилляры.

Первый Московский медицинский  
институт

Поступило  
28 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. А. Великоречин, Тр. ЛГСМИ, 3, 149 (1949). <sup>2</sup> Д. А. Жданов, Общая анатомия и физиология лимфатической системы, Л., 1952. <sup>3</sup> М. Я. Субботин, Архив анат., гист., и эмбр., № 1 (1953).





Г. М. ШАВЛОВСКИЙ

## УЧАСТИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ РИЗОСФЕРЫ В СНАБЖЕНИИ РАСТЕНИЙ ВИТАМИНАМИ

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 13 II 1954)

В настоящее время имеется ряд доказательств благоприятного влияния микроорганизмов ризосферы на жизнедеятельность высших растений: стимуляция прорастания семян под влиянием заражения различными видами бактерий и грибов, увеличение урожая, усиление иммунитета (против некоторых заболеваний). Для объяснения механизма этого влияния рядом исследователей было высказано предположение об участии микроорганизмов в снабжении растений витаминами, аминокислотами и веществами типа ауксинов (<sup>1-3</sup>). Однако прямых доказательств того, что витамины, образуемые в результате жизнедеятельности микробов ризосферы, могут поглощаться растениями, получено не было.

В наших предыдущих опытах (<sup>4</sup>) при помощи метода радиоактивных индикаторов было экспериментально показано, что бактерии ризосферы участвуют в корневом питании растений, снабжая последние органическими соединениями серы — аминокислотами и, возможно, другими веществами. В настоящем сообщении приводятся данные, свидетельствующие об участии ризосферной микрофлоры в снабжении растений витаминами.

Многочисленными исследованиями было показано, что витамины группы В присутствуют в почвах (<sup>6</sup>). В 1 г серой лесной вторично-карбонатной почвы нами было найдено: витамина В<sub>1</sub> (тиамина) 0,01 γ, биотина 0,5 мγ, никотиновой кислоты 0,25 γ, витамина В<sub>5</sub> (пиридоксина) 0 мγ.

В ризосфере 3-недельных сеянцев гречихи, выросших на той же почве, было обнаружено никотиновой кислоты 0,6 γ, а биотина 2,0 мγ на 1 г почвы, что указывает на более значительное содержание витаминов в прикорневом слое, чем в почве вне зоны корней. Для ризосферы других растений в литературе приводятся данные о еще более высоком содержании витаминов (<sup>1</sup>). Что касается происхождения этих витаминов в ризосфере, то можно полагать, что некоторое их количество могло освободиться при отмирании и автолизе клеток корней, однако гораздо более богатым источником накопления витаминов в прикорневой зоне является микрофлора ризосферы.

Если учесть процентное содержание бактерий, не нуждающихся в получении витаминов извне (ауксоавтотрофов), то окажется, что в ризосфере таких форм значительно больше, чем в почве вне корневой зоны. Так, в наших опытах бактерий, растущих на сахарно-минеральной среде, было в почве 4—8% от общего их количества, а в прикорневом слое сеянцев гречихи 35—50%. Изучение продуктов обмена нескольких типичных представителей ризосферной флоры, таких, как *Ps. fluorescens*, *Ps. aurantiaca*, *Achromobacter radiobacter*, *B. herbicola*, показало, что эти бактерии синтезируют и выделяют в окружающую среду витамин В<sub>1</sub>, био-

тин, витамин В<sub>6</sub>, никотиновую кислоту. Интересно отметить, что особенно большое количество витаминов синтезируются *Ps. aurantiaca* — микробным организмом, отнесенным Н. А. Красильниковым к числу бактерий-актиномикетов (6).

Чтобы ответить на вопрос о том, могут ли растения поглощать и усваивать витамины, синтезируемые микрофлорой ризосферы, необходимо было прежде всего изучить поглощение растениями химически чистых витаминов из субстрата при стерильных условиях их выращивания.

Уже исследование стерильных культур изолированных корней показало, что некоторые витамины группы В могут поступать из окружающей среды в корневую систему и усваиваться ее тканями (7). При орошении растений растворами витаминов наблюдалось повышение их содержания в этих растениях, по сравнению с контрольными, не получившими витаминов извне (5, 8, 9). Однако оставалось неясным, вызвано ли увеличение концентрации витамина в растениях поступлением его извне, или более интенсивным синтезом этого соединения самим растительным организмом под активирующим влиянием экзогенного витамина. Чтобы устранить эту неясность, мы поставили опыты по усвоению сеянцами гречихи, гороха и кукурузы витамина В<sub>1</sub>, меченного радиоактивным изотопом серы S<sup>35</sup>. Витамин вводился в агаризованную среду Кнопа (0,1 г/мл) при выращивании растений в стерильных условиях в конических колбах и больших пробирках. Для предотвращения фотолиза витамина под влиянием солнечных лучей на поверхность среды накладывались стерильные кружки фильтровальной бумаги с отверстиями для семян; стенки колб и пробирок в местах, соприкасающихся со средой, покрывались с наружной стороны тушью. После снятия урожая органы растений исследовались на содержание S<sup>35</sup> под торцовым счетчиком. Результаты опытов (табл. I) показали, что растения поглощали различные количества витамина, радиоактивная сера которого обнаруживалась как в корнях, так и в стеблях и в листьях.

Таблица 1

Поглощение меченого витамина В<sub>1</sub> растениями  
(активность 2 мг сух. вещ. в имп/мин)

Орган растения	Гречиха		Горох		Кукуруза
	11-дн.	38-дн.	11-дн.	26-дн.	11 дн.
Листья . . . . .	777	492	72	67	
Стебли . . . . .	591	1207	108	112	209
Корни . . . . .	421	955	51	360	58
Средн. проба из целого растения . . . . .	662	872	80	142	166

Обращают на себя внимание неодинаковое распределение радиоактивной серы по органам растений, отличия в количестве поглощенного витамина у разных растений, а также изменение характера распределения S<sup>35</sup> по органам у более взрослых растений. Если у 11-дневных сеянцев на большей удельной активностью обладали листья, то у более взрослых растений радиоактивная сера начинала накапливаться в большей степени в корнях (наиболее отчетливо у гороха) и стеблях (гречиха). Такое изменение в локализации S<sup>35</sup> может быть объяснено начавшимся интенсивным синтезом тиамина в листьях растений и оттоком витамина в стебли и корни, вследствие чего основная часть поступающего из корневой системы радиотиамин задерживается органами, больше в нем нуждающимися (как известно, корень не обладает способностью синтезировать тиамин).

Несмотря на синтетическую деятельность листьев, растения продолжают постепенно накапливать витамин В<sub>1</sub> из среды. Об этом свидетель-

твует сравнение средних величин активностей для целых растений различных возрастов.

В дальнейших опытах была сделана попытка выяснить возможность передачи растению витамина  $B_1$  культурами микроорганизмов. Чтобы получить живые микробные клетки, содержащие меченый витамин  $B_1$ , была использована способность как аукоавтотрофных, так и аукогетеротрофных организмов аккумулировать из среды готовые молекулы витаминов. В этом отношении лучше всего изучены дрожжи, которые в условиях брожения накапливают из среды значительное количество витамина  $B_1$  <sup>(10)</sup>. Для бактерий аккумуляция витаминов из среды изучена на примере витамина  $B_{12}$  <sup>(11)</sup>; в отношении тиаминa имеются косвенные указания <sup>(12)</sup>.

В наших опытах были взяты из числа форм, не нуждающихся в получении извне витаминов, почвенная бактерия *Ps. aurantiaca* и дрожжи *Torulopsis utilis* и *T. latvica*, а также *Rhodotorulopsis rubra* — аукогетеротроф в отношении витамина  $B_1$ .

Меченый витамин  $B_1$  вводился в микробные клетки или при выращивании микроорганизмов на синтетических средах с витамином (опыты с *Ps. aurantiaca*, *T. latvica* и *Rh. rubra*) или в процессе брожения культуры (опыт с *T. utilis*). Отделенные от питательной среды микроорганизмы, содержащие меченый витамин  $B_1$ , тщательно промывались трехкратным центрифугированием, а затем наносились в виде суспензии на простерилизованные семена гречихи (4,3 млрд. клеток *Ps. aurantiaca* или 240 млн. клеток дрожжей на 1 семя), которые проращивались в песчаных культурах в конических колбах.

Растения выращивались в течение 11 дней, после чего их органы испытывались на содержание радиоактивной серы. Как видно из приводимых данных (табл. 2), растения гречихи содержали в корнях, стеблях и семядолях вполне измеримые количества  $S^{35}$ .

Таблица 2

Снабжение сеянцев гречихи витамином  $B_1$   
посредством культур микроорганизмов  
(активность 2 мг сух. вещ. в имп/мин)

Орган растения	Инокуляция семян суспензиями				
	<i>Ps. aurantiaca</i> с активн. 8100 имп/мин	<i>T. latvica</i> с активн. 45000 имп/мин	<i>Rh. rubra</i> с активн. 9180 имп/мин	<i>T. utilis</i> с активн. 10230 имп/мин	<i>T. utilis</i> ризосфер. бактерии
Семядоли . . . . .	84	55	36	40	30
Стебли . . . . .	61	45	32	37	28
Корни . . . . .	90	65	52	43	42
% $S^{35}$ , переданной микроорганизмами растению . . . . .	8,53	1,21	4,0	3,2	2,8

Наибольшее количество витамина, определяемого по радиоактивной сере, было передано растениям культурой *Ps. aurantiaca* (8,53% от общей активности клеток), которая, как нами было установлено в специальных опытах, отличается способностью выделять витамин  $B_1$  в больших количествах в окружающую среду (203  $\gamma$ /г сухого вещества клеток в 8-дневной культуре). При заражении семян дрожжами *T. utilis*, обогащенными меченым витамином, и смесью ризосферных бактерий *Ps. fluorescens*, *A. radio-bacter*, *B. herbicola* — аукоавтотрофов, не содержащих радиоактивной серы, поглощенное проростками количество последней было несколько меньше, чем в опыте, где растения заражались только дрожжами. Возможно, что бактерии уменьшали контакт дрожжей с корневой системой и тем затрудняли передачу витамина. Следует отметить, что вычисленный



процент передачи микроорганизмами радиоактивной серы растению является, очевидно, заниженным, так как при инокуляции не вся масса микробных клеток (особенно дрожжевых, не обладающих активной подвижностью) имела возможность встретиться впоследствии с корневой системой. Тем не менее, передача меченого витамина В<sub>1</sub>, входившего в состав микробных тел, происходила во всех случаях опыта.

Настоящая работа выполнена под руководством М. Н. Мейселя, которому автор приносит глубокую благодарность.

Институт микробиологии  
Академии наук СССР

Поступило  
13 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. А. Красильников, Усп. совр. биол., **33**, 321 (1952). <sup>2</sup> А. А. Исакова, Изв. АН СССР, сер. биол., **5**, 838 (1939). <sup>3</sup> Е. Ф. Березова, А. Н. Наумова, Е. А. Разницина, ДАН, **18**, 357 (1938). <sup>4</sup> Г. М. Шавловский, ДАН, **91**, 1213 (1953). <sup>5</sup> В. Х. Шопфер, Сборн. Биохимия и физиология витаминов, **1**, 9 (1950). <sup>6</sup> Н. А. Красильников, ДАН, **45**, 87 (1944). <sup>7</sup> J. Bonner, H. Bonner, Vitamins and Hormones, **6**, 225 (1948). <sup>8</sup> C. Carpenter, Science, **98**, 109 (1943). <sup>9</sup> H. Hurni, Zs. f. Vitaminforsch., **15**, 198 (1944). <sup>10</sup> Е. Н. Одичцова, ДАН, **42**, 134 (1944). <sup>11</sup> R. L. Davis, L. L. Layton, B. F. Chow, Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **70**, 2 (1952). <sup>12</sup> S. B. Lee, B. H. Burris, Ind. Eng. Chem., **35**, 354 (1943).



ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. А. ГЕЛЛЕР

**О КОРНЕВЫХ ВЫДЕЛЕНИЯХ РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 15 II 1954)

Классическими исследованиями И. С. Шулова <sup>(1)</sup> в водных культурах в стерильных условиях было установлено, что корни растений выделяют во внешнюю среду различные органические соединения (органические кислоты). Аналогичные результаты были получены также другими исследователями <sup>(2)</sup>.

Однако из этих опытов оставалось неясным, являются ли корневые выделения продуктами отброса организма или они могут быть использованы растением, но переходят во внешний раствор в результате возмущений условий внешней среды. Некоторые авторы <sup>(3)</sup> считали, что сахара и другие органические соединения в присутствии корней растения могут образоваться не за счет корневых выделений, а в результате процесса гидролиза веществ клеточных стенок.

В последнее время вопрос о корневых выделениях растения был поднят К. И. Рудаковым <sup>(4)</sup>, который отмечает ряд методических неточностей, имевших место в работе Шулова и ставит под сомнение достоверность доказательств наличия корневых выделений у растений. При этом он подчеркивает, что даже при полной стерильности питательного раствора во время роста культуры в раствор неизбежно попадают отмершие корневые волоски и отдельные корешки, при автолизе которых могут образоваться сахара и органические кислоты.

В наших исследованиях мы исходили из высказанных ранее С. П. Костычевым <sup>(5)</sup> положений, что силой, движущей корневые выделения, является разность концентраций растворимых веществ в клетках корня и во внешнем растворе, а уравнивание этих концентраций вызывает приостановку выделения веществ. По Костычеву, в естественных условиях именно разность концентраций создается вследствие того, что корневые выделения непрерывно поглощаются микроорганизмами, обитающими в прикорневой зоне растения.

В искусственных опытах такие условия можно создать, в частности, путем обработки корней растворами окислителей. Ранее нами <sup>(6)</sup> было выяснено, что при обработке корней растворами перманганата часть последнего адсорбируется корнями, другая же часть восстанавливается корневыми выделениями, а также органическими веществами поверхности корневой системы. Для определения количества адсорбированного перманганата корни растений промывались в чистой воде и помещались в 0,01 N раствор щавелевой кислоты до полной нейтрализации адсорбированного перманганата. Определяя таким способом количество восстановленного и адсорбированного корнями различных сортов сахарной свеклы перманганата, мы выяснили, что сорта свеклы урожайного и сахаристого направлений мало отличаются по величине адсорбционной поверхности корневой системы, но резко отличаются по способности восстанавливать  $\text{KMnO}_4$ . Корни ростков свеклы сахаристого направле-

ния значительно сильнее восстанавливают перманганат (на 30—40%) по сравнению с сортами урожайного направления. Эти факты в известной мере подтверждают мнение С. П. Костычева о том, что количество корневых выделений зависит от разности концентраций. При более высоких концентрациях сахаров в корнях свеклы сахаристого направления количество корневых выделений у них также выше, чем у сортов урожайного направления при одинаковых условиях внешней среды.

Дальнейшие исследования показали, что при обработке корней растений растворами перманганата происходит окисление корневых выделений, кроме того, часть растворимых соединений клеток корня переходит во внешний раствор и реагирует с перманганатом. Об этом свидетельствует тот факт, что с повышением концентрации перманганата восстановительная способность корней повышается, но если затем произвести вторичную обработку, то при этом восстановительная способность корней резко падает, причем тем сильнее, чем выше была концентрация перманганата во время первой обработки. В табл. 1 приведены результаты опытов с 12-дневными ростками озимой пшеницы, выращенными в песке на питательной смеси Гельригеля. Отмытые с песка корни растений подвергались обработке в течение 1 мин. растворами перманганата различных концентраций (0,05; 0,01 и 0,005  $N$ ), после чего путем обработки корней раствором щавелевой кислоты определялось количество адсорбированного перманганата. Через 20 мин. после первой обработки корни вторично обрабатывались слабым раствором перманганата (0,005  $N$ ).

Таблица 1

Количество перманганата, адсорбированного и восстановленного корнями озимой пшеницы в последовательных обработках (мл 0,005  $N$   $KMnO_4$  на 100 г корней)

Концентрац. перманганата	После первой обработки перманганатом			После второй обработки перманганатом		
	адсорбировано	восстановлено	всего	адсорбировано	восстановлено	всего
0,05 $N$	203	587	790	63	103	166
	208	593	801	65	110	175
0,01 $N$	160	390	550	66	136	202
	155	388	543	69	139	208
0,005 $N$	107	310	417	77	180	257
	111	314	425	80	183	263

Как видно из данных табл. 1, если при первой обработке применялись концентрированные растворы, тогда при последующей обработке восстановительная способность корней понижалась. Это можно объяснить тем, что концентрированные растворы перманганата извлекали из клеток корня больше растворимых органических соединений, чем слабые растворы. Если период между первой и второй обработкой удлинить до 24 или 48 час., то за это время поверхностные слои клеток корневой системы пополняются растворимыми органическими соединениями вследствие чего способность корневой системы восстанавливать перманганат вновь повышается. В наших опытах мы обрабатывали 10-дневные ростки ячменя, выращенные в песке на питательной смеси Гельригеля 0,005  $N$  растворами перманганата в течение 1 мин. последовательно несколько раз. Каждая последующая обработка производилась через 20 мин. Затем ростки помещались в питательный раствор, и через 48 час. вновь была определена способность корней восстанавливать раствор перманганата. Одновременно учитывалось количество нитритов, появившихся в растворе.

В опытах применялся питательный раствор следующего состава (на 1 л воды в г):  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1,18;  $\text{NaNO}_3$  0,5;  $\text{KCl}$  0,2;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0,61;  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,004;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  0,3;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0,05;  $\text{CaCO}_3$  0,1.

Таблица 2

Количество перманганата, восстановленного корнями ячменя в последовательных обработках, и образование нитритов в питательном растворе

Варианты опыта	Восстановлено в мл 0,005 N $\text{KMnO}_4$ на 100 г корней						Нитриты в мг на 1 л раствора
	1-я обработка	2-я	3-я	4-я	сумма	через 48 час.	
Контроль . . . . .	—	—	—	—	—	394	2,35
	—	—	—	—	—	401	2,39
Предварительные обработки 0,005 N $\text{KMnO}_4$ . . . . .							
Одна обработка . . .	383	—	—	—	383	298	1,79
	394	—	—	—	394	301	1,82
Две обработки . . .	382	135	—	—	517	233	1,24
	378	141	—	—	519	244	1,18
Три обработки . . .	380	134	119	—	633	227	0,83
	373	129	117	—	619	223	0,81
Четыре обработки . .	389	142	124	98	753	161	0,35
	392	147	119	87	745	164	0,39

При вторичной обработке корней через 20 мин. после первой способность их восстанавливать перманганат уменьшается в 2—3 раза, но через 48 час. эта способность вновь повышается и составляет уже примерно 75—80% к исходному. При каждой последующей обработке способность корней восстанавливать растворы перманганата понижается и все более медленными темпами приближается к исходному состоянию.

Результаты этого опыта также показывают, что появление нитритов в питательном растворе изменяется параллельно изменению способности корней восстанавливать перманганат, т. е. зависит от корневых выделений.

Аналогичные результаты получены при обработке корней растений растворами перманганата различных концентраций. Более высокие концентрации перманганата извлекают из корней больше растворимых органических

соединений, вследствие чего в питательном растворе оказывается меньше нитритов, чем при обработке корней слабыми растворами. В наших опытах 15-дневные ростки озимой пшеницы обрабатывались растворами перманганата в течение 1 мин., затем щавелевой кислотой нейтрализовался адсорбированный корнями перманганат, после чего корни тщательно промывались в воде и помещались в питательный раствор вышеуказанного

Таблица 3

Влияние предварительной обработки перманганатом корней озимой пшеницы на динамику нитритов в питательном растворе

Варианты опытов	Нитриты в мг на 1 л раствора		
	через 24 часа	через 48 час.	через 96 час.
Контроль	0,49 0,53	2,64 2,70	4,62 4,64
Обработка корней раствором $\text{KMnO}_4$ 0,005 N	0,33 0,35	2,31 2,29	3,30 3,33
0,01 N	0,29 0,27	1,98 2,00	2,93 2,97
0,05 N	0,16 0,18	1,09 1,12	2,56 2,53
0,1 N	0 0	0,49 0,53	0,89 0,95



состава. Аналогичные результаты получены в опыте с 12-дневными ростками гороха и других культур.

Таким образом, обрабатывая корни растений несколько раз слабыми растворами перманганата или применяя различные по концентрации растворы перманганата, можно извлечь из корней растений различные количества растворимых органических соединений, в зависимости от чего проявляется способность корней восстанавливать нитраты в нитриты. В тех случаях, когда из корней предварительно извлекалось большее количество растворимых органических соединений, способность восстанавливать нитраты в нитриты пропорционально уменьшалась.

Следовательно, процесс восстановления нитратов в нитриты в питательном растворе зависит от количества (а также, надо полагать, и качества) корневых выделений.

Независимо от того, происходит ли процесс восстановления нитратов в нитриты при участии микроорганизмов ризосферы или этот процесс осуществляется ферментами поверхности корней растения, источником энергии для осуществления этого процесса в условиях, когда растение выращивается в минеральной питательной среде, является всегда само растение. Судя по динамике накопления нитритов в питательном растворе в различных вариантах опыта (табл. 3), можно прийти к выводу, что корневые выделения переходят в питательный раствор постепенно и если предварительно тем или иным путем уменьшить содержание растворимых органических веществ в корне, то это приводит к уменьшению количества корневых выделений и, соответственно, к торможению процесса восстановления нитратов в нитриты. С течением времени клетки корня вновь пополняются растворимыми органическими соединениями и восстановительная способность их повышается и при этом увеличивается содержание нитритов в питательном растворе.

Таким образом, количество корневых выделений растений, как отмечал в свое время С. П. Костычев, зависит прежде всего от разности концентраций веществ во внешнем питательном растворе и в клетках корня. Поэтому, изменяя концентрации растворимых органических веществ в корне, а также во внешнем растворе, можно практически влиять на количество корневых выделений.

Имея в виду, что корневые выделения резко влияют на азотный режим питательного раствора и, соответственно, на азотное питание растения, необходимы дальнейшее детальное изучение природы корневых выделений и разработка практических мероприятий по регулированию этого явления.

Поступило  
18 VIII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. С. Шулов, Исслед. в области физиол. питания высших растений, М., 1913.  
<sup>2</sup> Т. Димиденко, Научно-агрон. журн., № 7—8, 528 (1928). <sup>3</sup> Ф. В. Чириков, Журн. опытно-агрон., 17, 293 (1916). <sup>4</sup> К. И. Рудаков, Микроорганизмы и структура почв, М., 1951. <sup>5</sup> С. П. Костычев, Физиология растений, 2, 1933, стр. 112.  
<sup>6</sup> И. А. Геллер, Е. Г. Харитон, ДАН, 75, № 1, 127 (1950).



ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. Н. ЛАПШИНА

**ВЛИЯНИЕ ВНЕКОРНЕВОГО ПИТАНИЯ ФОСФОРОМ  
НА СОДЕРЖАНИЕ В РАСТЕНИЯХ АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ,  
САХАРОВ И ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 15 II 1954)

В настоящее время можно считать установленным, что питательные вещества, нанесенные на лист, поступают в той или иной мере в его ткани и используются растением наряду с веществами, поступающими через корневую систему (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>). При этом питательные вещества, поступившие в листовую ткань, оказывают существенное влияние на обмен веществ в растениях (<sup>3</sup>, <sup>4</sup>), а также на их рост и развитие.

Для того чтобы установить, какое влияние на содержание азотистых веществ и сахаров оказывает питание фосфором через листья, мы в 1951 г. проводили физиологические опыты в водных культурах с овсом по схеме: 1-й вариант — полная питательная смесь, 2-й вариант — питательная смесь без фосфора, 3-й вариант — питательная смесь без фосфора + внекорневое питание фосфором. Питательные вещества давались в виде смеси Гельригеля, причем смена питательного раствора производилась 1 раз в 10 дней.

Опыты проводились по следующей методике. Пророщенные семена овса высаживались на сетку и в течение 10 дней содержались на водопроводной воде. Десятидневные проростки в опыте № 1 18 VI, а в опыте № 2 20 VIII пересаживались в водные сосуды по указанной выше схеме. Внекорневое питание растений осуществлялось путем ежедневного опрыскивания растений в 9 час. утра и в 6 час. вечера в опыте № 1 0,5% раствором смеси  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , а в опыте № 2 0,5% раствором смеси  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .

Для того чтобы при опрыскивании фосфор не попал в питательный раствор, находящийся в сосуде, пробки, на которых держались растения, покрывались толстым слоем ваты. Опытный период в опыте № 1 длился 3 дня. Внешний вид растений в конце этого опыта представлен на рис. 1.

По окончании опытного периода растения были срезаны, тщательно промыты вначале водопроводной, а затем дистиллированной водой, разделены на органы и зафиксированы при температуре 80° в течение 3 мин. Затем в корнях и надземной массе было определено содержание азотистых веществ по микрокельдалю, сахаров по Бертрану и  $\text{C}_2\text{O}_5$  по Лоренцу — Шефферу.

Сухой вес растений по опыту № 1, а также содержание в них  $\text{P}_2\text{O}_5$  представлены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, фосфорное голодание сказалось более резко на развитии вегетативной массы, нежели корней. Опрыскивание растений, выращиваемых на питательной смеси без фосфора, 0,5% раствором фосфорнокислого калия значительно улучшило состояние растений, причем под влиянием внекорневого питания фосфором рост веге-

тативной массы овса происходил в большей степени, чем рост корней.

Однако растения 3-го варианта, несмотря на ежедневное опрыскивание фосфором в течение всего опытного периода, сильно отставали в росте от растений контрольного варианта.

Из табл. 1 также видно, что при фосфорном голодании (вар. 2) процентное и абсолютное содержание  $P_2O_5$  в надземной массе и корнях растений было крайне ничтожно. Внекорневое питание фосфором увеличало содержание  $P_2O_5$  в надземной массе и корнях.



Рис. 1 — полная питательная смесь, 2 — смесь без фосфора, 3 — смесь без фосфора + внекорневое питание фосфором

Таким образом, выяснилось, что при внекорневом питании фосфор не только поступает в листья, но и передвигается из них в другие органы, в частности в корни: так как в питательной среде фосфор полностью отсутствовал, увеличение содержания его в корнях могло произойти только за счет передвижения из надземной массы.

Таблица 1  
Сухой вес растений и содержание в них  $P_2O_5$

№ варианта	Органы	Сухой вес растений		$P_2O_5$	
		г	%	в мг на 9 раст.	в % на сух. массу
1	Надземная масса	17,25	100,0	121	0,70
	Корни . . . . .	4,55	100,0	60	1,32
2	Надземная масса	1,66	9,3	3	0,16
	Корни . . . . .	0,91	20,0	1	0,13
3	Надземная масса	6,13	35,4	26	0,43
	Корни . . . . .	1,43	31,1	5	0,35

Аналогичные данные получены также и в опыте № 2, который мы проводили по точно такой же методике, как и опыт № 1, но в другие сроки. В этом опыте десятидневные проростки овса пересаживались в кристаллизаторы в водные сосуды 20 VIII и опытный период продолжался 29 дней (см. табл. 2).

Определение содержания азотистых веществ и сахаров в надземной массе и корнях овса по опыту № 1 представлено в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что фосфорное голодание отразилось на процессах синтеза. Содержание сахаров и белкового азота в надземной массе и корнях растений, выращиваемых на питательной среде без фосфора, по сравнению с контролем значительно снизилось. Вместе с тем

Таблица 2

Сухой вес растений и содержание в них  $P_2O_5$

№№ вариантов	Органы	Сухой вес 7 растений		$P_2O_5$	
		г	%	в мг на 7 растен.	в % на сух. массу
1	Надземная масса	7,38	100,0	102	1,38
	Корни . . . . .	2,01	100,0	30	1,52
2	Надземная масса	1,25	16,9	2	0,15
	Корни . . . . .	0,65	32,3	0,7	0,11
3	Надземная масса	2,68	36,3	14	0,54
	Корни . . . . .	1,05	52,2	2	0,24

при фосфорном голодании в корнях резко возрастает содержание небелкового азота, тогда как в надземной массе оно остается на одном уровне с нормально питающимися растениями. Следовательно, хотя азот и поступал из питательной среды в корни, но дальнейшее его передвижение и использование в процессах обмена при фосфорном голодании было затруднено.

Таблица 3

Содержание азотистых веществ и сахаров (в % на сух. вещ.)

Внекорневое питание растений фосфором улучшило поступление и использование азота питательной среды. Под его влиянием (вар. 3) возросло процентное содержание белкового азота, а содержание небелкового азота в корнях значительно умень-

№№ вариантов	Органы	Белко- вый N	Небелко- вый N	Редуциру- ющие сахара	Сахароза	Сумма сахаров
1	Надземная масса	1,40	0,28	5,52	17,18	22,70
	Корни . . . . .	1,24	0,36	6,60	2,60	9,20
2	Надземная масса	1,23	0,26	1,56	8,14	9,70
	Корни . . . . .	0,76	0,98	1,03	4,46	5,49
3	Надземная масса	1,85	0,44	3,26	8,74	12,00
	Корни . . . . .	1,29	0,69	4,17	1,93	6,10

шилось. В то же время увеличилось содержание небелкового азота и в надземной массе. Возросло также и содержание сахаров в надземной массе и корнях. Эти данные говорят о том, что под влиянием внекорневого питания фосфором в растениях усилились синтетические процессы. Следовательно, при внекорневом питании овса фосфором последний не только поступает в растение и передвигается в нем из надземной массы в корни, но и оказывает существенное влияние на азотный и углеводный обмен.

Всесоюзный институт  
удобрений, агротехники и агропочвоведения

Поступило  
15 V 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. К. Домонтович, П. А. Железнов, Научно-агрономич. журн., № 2 (1930). <sup>2</sup> Ф. Ф. Мацков, Р. А. Фарфель, Изв. АН СССР, сер. биол., № 4 (1940). И. В. Якушкин, М. М. Эдельштейн, Агробиология, № 4 (1952). Ф. Ф. Мацков, Ф. Я. Бузовер, Зап. Харьк. с.-х. инст., 6, (1947).





С. М. ЛЯХОВ

**О ЧИСЛЕ ГЕНЕРАЦИЙ У TENDIPES (DIPTERA, TENDIPEDIDAE)  
В КОЛХОЗНЫХ ПРУДАХ КУЙБЫШЕВСКОЙ ОБЛАСТИ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 10 II 1953)

Вопрос о числе генераций у водных животных, имеющих кормовое значение для рыб, представляет значительный интерес в связи с оценкой продуктивности и кормности водоемов. Среди бентических животных в пресных водоемах личинки тендипедид занимают ведущее положение. Наиболее крупными из них, а следовательно, и наиболее существенными в кормовом отношении являются личинки рода *Tendipes*, встречающиеся в водоемах различного типа. Данные о числе генераций у *Tendipes* в различных водоемах содержатся в ряде работ (<sup>1-3</sup>).

Мы исследовали три пруда, находящиеся на территории Молотовского района Куйбышевской обл. Пруды расположены ступенчато в неглубокой балке, питаются за счет атмосферных осадков. Площадь прудов от 2 до 4 га, глубина в приплотинной части после максимального затопления достигает 2,5—3,0 м. Грунты двух старых нижних прудов представляют собой плотный гомогенный автохтонный ил с весьма незначительной примесью растительных остатков. В верхнем пруду, построенном в год исследования, заметна примесь почвы.

Пруды предназначены в основном для водоснабжения. Кроме того, они заселены золотым и серебряным карасем, который время от времени отлавливается для нужд местного населения. За зимний период два нижних пруда вычерпываются нацело, так что лед ложится на дно. Однако грунт не промерзает, и донные животные остаются живыми к весеннему наполнению прудов.

Личинки *Tendipes*, представленные формой *semireductus*, занимают в бентосе прудов руководящее положение. На протяжении почти всего года на их долю приходится от 80 до 95% биомассы в Нижнем и Верхнем прудах и от 40 до 60% в Среднем. Лишь в периоды массового вылета удельный вес их резко снижается, но затем быстро восстанавливается за счет воспроизводства личинок следующей генерации. Помимо личинок *Tendipes*, в состав донного населения прудов входят олигохеты, личинки некоторых других тендипедид, личинки *Sialis*, пиявки и пр.

Пруды были подвергнуты в 1950—1951 гг. полустационарному исследованию путем периодического посещения их в течение года. Всего было проведено 7 серий наблюдений в следующие сроки: I серия — 27—28 V 1950, II — 27—29 VI 1950, III — 30—31 VIII 1950, IV — 9 X 1950, V — 9 XII 1950, VI — 16 III 1951 и VII — 5—6 V 1951. Каждый раз в различных точках прудов отбирались дночерпательные пробы бентоса.

Для суждения о динамике популяций водных животных, имеющих одну и более генераций в год, удобно применять метод массовых промеров и сравнения построенных на основании этих промеров вариационных кривых. Этот метод удачно применен И. В. Шароновым (<sup>5</sup>) для решения ряда вопросов биологии севанских тендипедид. Личинки *Tendipes* из

наших прудов промерялись с точностью до 1 мм. Для построения кривых результаты промеров сведены в группы с классовыми промежутками 4 мм. Поскольку условия существования донного населения во всех трех прудах весьма сходны и пруды находятся в непосредственной близости друг к другу, данные по промерам личинок из всех трех прудов рассматриваются совместно.

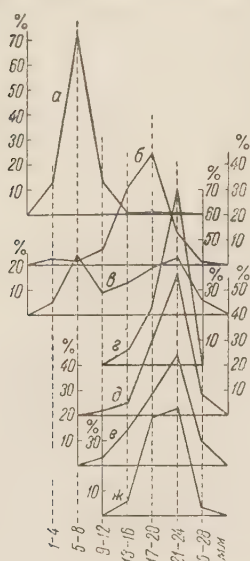


Рис. 1. Кривые распределения личинок *Tendipes* по размерам. а — 27—28 V 1950, б — 27—29 VI 1950, в — 30—31 VIII 1950, г — 2—9 X 1950, д — 9 XII 1950, е — 16 III 1951, ж — 5—6 V 1951

А. С. Константинов <sup>(4)</sup> установил, что важнейшими факторами развития личинок *Tendipes* в искусственных условиях являются температура воды, аэрация, плотность популяции и качество корма. Оценивая роль этих факторов в наших прудах, можно сказать, что аэрация здесь в летние месяцы вполне достаточна, плотность не выше оптимальной (в среднем за год 1600 экз. на 1 м<sup>2</sup>), а естественный корм в грунтах богатого органическим веществом водоема является, несомненно, наилучшим. Таким образом, определяющим развитием личинок фактором является температура воды. Ранее Е. В. Боруцкий <sup>(1)</sup> показал значение температурного фактора для динамики естественной популяции тендипедид в водоеме.

В табл. 1 приводится соотношение личинок различных размеров на протяжении года. На рис. 1 это соотношение дано в процентном выражении.

В конце мая 1950 г. при температуре воды 17—19° почти вся популяция *Tendipes* состояла из мелких личинок длиной от 3 до 12 мм. Очевидно, первый вылет имаго произошел в середине мая, а эти мелкие личинки являются первым новым поколением. Крупные личинки, задержавшиеся в прудах до этого времени, составляют менее 2% популяции. Единично встречались куколки и

экзувии, что говорит о продолжающемся вылете.

В конце июня картина резко меняется. Так же как и месяц назад, популяция в основном однородна, но подавляющее большинство личинок

Таблица 1  
Число личинок *Tendipes* различных размеров

Серия наблюдений	Всего измерено личинок	Длина в мм						
		1—4	5—8	9—12	13—16	17—20	21—24	25—28
1950 г.								
27—28 V	336	45	239	46	2	3	1	—
27—29 VI	375	9	6	23	117	170	47	3
30—31 VIII	328	17	79	31	44	63	74	20
9 X	53	—	—	—	3	13	37	—
9 XII	198	—	—	4	10	57	112	15
1951 г.								
16 III	113	—	—	3	16	33	50	11
5—6 V	36	—	—	—	2	14	19	1

имеет длину от 13 до 26 мм. Можно считать, что это те же личинки, что были в прудах в мае, но подростшие в среднем на 12—13 мм. Отметим, что средняя длина их на 4—5 мм меньше средней длины зимних личинок, имеющих максимальную для данных водоемов длину. Помимо этих сравнительно крупных личинок в прудах имеются мелкие личинки длиной до 10 мм, составляющие приблизительно 10% всей популяции.

В конце августа, спустя 2 мес. после предыдущей серии, популяция неоднородна и состоит из двух групп, приблизительно равных по численности. Одна из них — крупные личинки длиной от 13 до 28 мм. Нет оснований полагать, что личинки этой группы — подросток первое летнее поколение, составляющее основную массу личинок в мае и июне. Несомненно, за двухмесячный промежуток времени с конца июня по конец августа имел место во всяком случае еще один вылет имаго. В этом убеждают данные А. С. Константинова <sup>(4)</sup> о продолжительности личиночного развития *Tendipes* в эксперименте в зависимости от температуры воды: при 20° развитие длится 25 суток, при 22° — 17 суток. Таким образом, крупные августовские личинки представляют собой второе поколение насекомых. Вторая группа состоит из мелких личинок длиной от 2 до 12 мм. Нет сомнения, что эти личинки вышли из яиц, отложенных в водоем на протяжении августа. Следовательно, около половины личинок второго поколения, развивавшихся в июле ранее других, успевают за вегетационный период окуклиться и вылететь, давая третье поколение насекомых. Температура воды в августе составляла 12—14°. При дальнейшем ее понижении мало вероятно еще один вылет имаго, тем более, что ни куколок, ни личинок, близких к окукливанию, в это время в прудах уже нет.

В начале октября популяция компактна и представлена личинками длиной от 13 до 24 мм. Таким образом, за осенний период мелкие личинки третьего поколения успевают подрасти до среднего размера популяции. Почти точное совпадение характера кривых за октябрь и декабрь 1950 г. и март 1951 г. показывает, что за поздне-осенний и зимний период рост личинок приостанавливается.

В 1951 г. первый массовый лет наблюдался во время очередного осеждения прудов в первых числах июня при температуре воды 12,5—14,5°. Соответствующая кривая на графике отличается от зимних лишь относительно меньшим количеством самых крупных личинок, покинувших этому времени водоемы. Одновременно в прудах много куколок (по всем прудам — 25 % к общему числу особей). Вместе с тем общее количество личинок значительно меньше обычного.

Изложенные данные позволяют сделать вывод, что *Tendipes* в исследованных прудах имеет 2—3 генерации в год.

Сравнивая полученные данные с имеющимися в литературе, можно констатировать известный градиент в числе генераций по направлению с севера на юг. В подмосковном Белом озере <sup>(1)</sup> *Tendipes plumosus* продвигается за лето две генерации на глубине 2 м и одну — на больших глубинах. То же имеет место у *T. plumosus* в высокогорном оз. Севан, хотя *T. thummi*, личинки которого живут в Севане значительно глубже, имеет одну генерацию в год <sup>(5)</sup>. В окрестностях Куйбышева, по нашим данным, *Tendipes* продвигается 2—3 генерации. В районе Саратова *T. dorsalis* имеет три генерации <sup>(3)</sup>. Южнее, в водоемах дельты Волги <sup>(2)</sup> *T. plumosus* имеет 4, а в благоприятные годы 5 генераций.

Куйбышевский государственный  
медицинский институт

Поступило  
21 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Е. В. Борущкий, Тр. Лимнол. ст. в Косине, в 22 (1939) <sup>2</sup> И. И. Воинов, Тр. Касп. бассейна, филиала ВНИРО, II (1950). <sup>3</sup> А. С. Константинов, Тр. МОИП, отд. биол., 7, в. I (1952). <sup>4</sup> А. С. Константинов, Тр. Саратовск. д. Касп. филиала ВНИРО, 2 (1953). <sup>5</sup> И. В. Шаронов, Тр. Севанск. гидробиол., 12 (1951).





А. С. ГИНЗБУРГ

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ БОРОЗД ДРОБЛЕНИЯ У ОСЕТРОВЫХ РЫБ

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 8 II 1954)

Процесс дробления у разных представителей осетровых рыб (белуги, осетра, севрюги и стерляди) протекает в общем сходно. Первая борозда разделяет анимальную область яйца на две части, при втором делении борозды закладываются перпендикулярно первой борозде (рис. 1, 1, 2). Величина как первых двух, так затем и четырех blastomerov в известной степени варьирует. При третьем делении в яйцах удлиненной формы (обычной для осетровых) борозды ложатся под небольшим углом к первой борозде, иногда почти параллельно ей, образуя характерный ж-образный рисунок; blastomerov, обособляющиеся по бокам от первой борозды, как правило, бывают уже остальных (рис. 1, 3а). В яйцах округлой формы борозды располагаются чаще меридионально, причем blastomerov имеют сходную величину (рис. 1, 3б). То или иное положение борозд дробления связано с распределением активной цитоплазмы (1).

Расположение борозд третьего деления часто не имеет геометрической правильности, так что отдельные blastomerov могут заметно отличаться друг от друга по форме и величине (рис. 1, 3в). Если борозда третьего деления сильно загибается в направлении первой борозды, происходит обособление небольшого blastomera удлиненной или округлой формы (рис. 1, 3г, д); изредка наблюдается обособление двух таких blastomerov. Яйца с маленькими выщепившимися blastomerami встречаются почти во всех партиях икры, иногда в значительном проценте случаев (в изученных партиях икры осетра их было до 40 %).

При четвертом делении либо все борозды ложатся горизонтально и отделяют к центру анимальной области blastomerov небольшой величины (так они обычно располагаются в яйцах, у которых все 8 blastomerov имеют сходную величину — рис. 1, 4б)), либо часть борозд, в более узких blastomeraх, закладывается горизонтально, а остальные — косо или меридионально (рис. 1, 4а, в).

Число blastomerov нарастает в правильной геометрической прогрессии: 2, 4, 8, 16. Уклонения наблюдаются при проникновении в яйцо избыточных сперматозоидов; в таких яйцах число blastomerov превышает нормальное для данной стадии (2). Неполное число blastomerov (при незавершенном делении) встречается в виде редкого исключения. Так, на стадии третьего деления встречаются единичные яйца с 7 blastomerami. Однако, если разрезать такие яйца, то, как правило, у них можно обнаружить маленький восьмой blastomer, который не был виден снаружи. Таким образом, в этих случаях имеется нормальное число blastomerov, но одна из борозд третьего деления легла не перпендикулярно поверхности яйца, а под углом к ней, и обособившийся blastomer оказался скрытым под вершиной того, от которого он отделился.

Все сказанное относится к развитию икры хорошего качества (полученной от естественно созревших или от гипофизированных самок) в благоприятных условиях. В икре плохого качества, обладающей низким гургором («слабой»), нарушается как закономерность расположения бо-

розд, так и синхронность делений отдельных бластомеров — яйца из одной пробы икры могут иметь различное количество бластомеров.

Возникает вопрос, можно ли считать описанные выше картины вариациями нормального процесса дробления или же, согласно существующей точке зрения (3-6), значительные различия в форме и размерах отдельных

бластомеров у осетровых, несимметричность рисунка дробления всегда свидетельствуют о нарушении развития.

Для решения этого вопроса было прослежено развитие яиц разным расположением борозд дробления. Исследование проводилось на икре, полученной при помощи инъекций гипофизов, 1952 г. в Рогожкине, в устье Дона (была использована икра 5 самок осетра и 5 самок севрюги) и 1953 г. в Рыбной слободе на Каме в районе нерестилищ осетра (1 партия икры осетра).

На стадии третьего деления отбирали, с одной стороны (серия А) яйца, у которых обособился маленький бластомер (рис. 1, 3г, д). В этих случаях рисунок дробления не симметричен, различия в форме и размерах между бластомерами особенно велики. С другой стороны (серия Б) в той же партии икры отбирали яйца с очень правильным ж-образным расположением борозд (рис. 1, 3а). Была сделана также попытка отбирать яйца с «семью» бластомерами. Однако они встречались настолько редко, что удалось проинкубировать только 11 таких яиц, составивших маленькую дополнительную серию.

Часть наблюдений проведена на приклеенных яйцах: икру осетря меняли в лаборатории, раскладывали по несколько яиц в чашки Коха и затем на стадии третьего деления из каждой чашки удаляли все яйца, кроме тех, которые имели рисунок дробления, характерный для одной из серий. Затем проводились наблюдения за развитием каждого зародыша и зарисовки их на последовательных стадиях

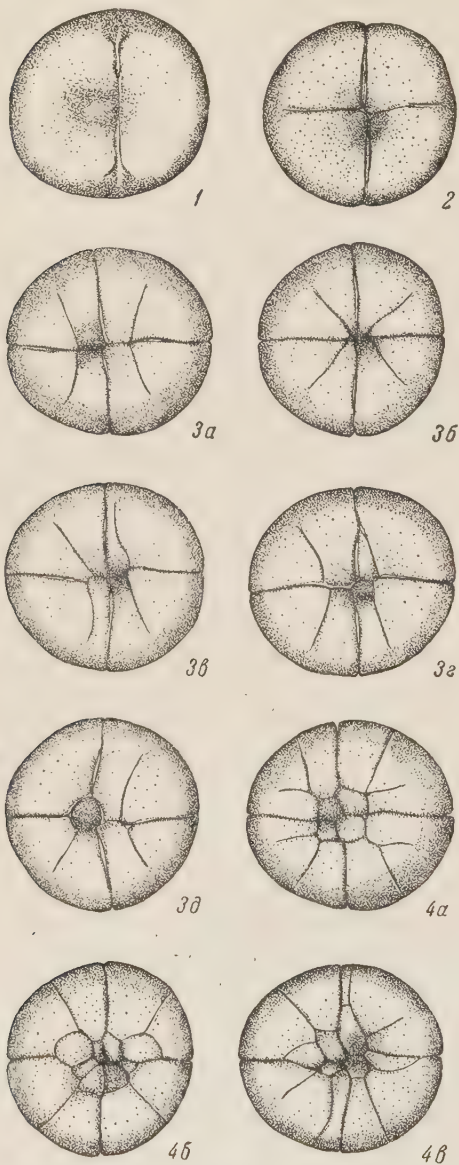


Рис. 1. Яйца севрюги на стадиях первого (1), второго (2), третьего (3) и четвертого (4) деления; 4а, б, в — четвертое деление яиц 3а, б, в

В других случаях отбирали яйца в обесклеенной икре, помещали их по несколько штук в чашки Коха или кристаллизаторы и инкубировали дальше в лаборатории так же, как и приклеенные яйца. В двух случаях в виде исключения, яйца после отборки были помещены в рыбоводный аппарат в рску (что специально отмечено при рассмотрении материала).

Вылупившихся личинок осматривали и обычно тех из них, которые

имели уродливое строение, фиксировали, а остальных выращивали в лаборатории в больших чашках Коха или кристаллизаторах. Воду сменяли 1—2 раза в сутки. Температура воды колебалась в пределах от 13 до 20°. Личинки были фиксированы через разные сроки после вылупления (от 6 до 12—15 дней) на этапе жаберного дыхания (при больших сроках — незадолго до начала активного питания).

Таблица 1

Гибель в период иккубации и при выращивании

Вид	Расположе- ние борозд на стадии 3-го деле- ния (обо- значена серия)	Инкубация			Выращивание		
		число яиц, отобранных для инкубации	погибло за период инкубации	% гибели	число личинок, взятых для выращива- ния	погибло за время вы- ращивания	% гибели
Черноморско- азовский осетр	А	64	2	3,1	97*	10	10,3
	Б	63	1	1,6	57	15	26,3
Севрюга	А	59	2	3,4	52	26	50,0
	Б	322	5	1,6	223	112	50,2

\* Сюда включены результаты выращивания 43 личинок, полученных из яиц, инкубировавшихся в реке (в аппарате Сес-Грина).

Жизнеспособность яиц с выщепившимся бластомером (серия А) оказалась не ниже, чем у яиц с правильным ж-образным рисунком (табл. 1). В период инкубации в обеих сериях погибали только единичные зародыши. При выращивании отход был значительно больше, в особенности у севрюги. Это связано с неблагоприятными условиями — при температуре выше 19° у личинок было отмечено появление мышечных контрактур (обратимых при снижении температуры), в других случаях наблюдался паралич туловищной мускулатуры и гибель. Действие повышенной температуры сказывалось одинаковым образом на личинках, развившихся из яиц с разным рисунком дробления. Процент отхода в опытах с севрюгой одинаков в обеих сериях, а у осетра он даже ниже в серии А — вследствие того, что в ней относительно больше яиц из одной партии икры (1952, № 33), почти не давшей отхода при выращивании.

Зародыши серии А не уступают зародышам, имевшим симметричный рисунок дробления, и в отношении типичности развития. При инкубации в обеих сериях лишь небольшое число зародышей (табл. 2) развивалось уродливо (встречались зародыши с водяной, недоразвитием головы, резким укорочением и искривлением хвоста), причем процент уродов в серии А был не выше, чем в серии Б, а даже несколько ниже (учитывая относительно небольшое количество изученных зародышей, это различие следует рассматривать как случайное).

Рост личинок в обеих сериях происходил с одинаковой интенсивностью. Измерения длины фиксированных личинок приведены в табл. 3 (длина

Таблица 2

Уродства на стадии вылупления

Вид	Расположе- ние борозд на стадии 3-го деле- ния обозна- чена(серия)	Всего за- родышей на стадии вылупле- ния	Зародышей с дефектами строения	
			число	%
Черноморско- азовский осетр	А	62	3	4,8
	Б	62	5	8,1
Севрюга	А	57	3	5,3
	Б	317	42	13,2



личинки дефектного строения — с искривленным туловищем и хвостом недоразвитым головным мозгом — не учитывалась). Можно видеть, что различия средней длины в сериях А и Б, при достаточном числе фиксированных личинок, колеблются в пределах от 0 до 0,2 мм. Такие различия при размахе индивидуальной изменчивости в каждой серии порядка 1—2,5 мм, не являются реальными.

Таблица 3

Размеры личинок

Вид	Год и № самки	Время фиксации (сутки после вылупления)	Расположение борозд на стадии 3 го деления (обозначена серия)	Всего личинок	Личинок без существенных нарушений строения			
					число	Длина (в мм)		
						миним.	макс.	средн.
Волго-каспийский осетр . . . . .	1953, № 4*	1	А	32	32	10,4	11,6	11,3
			Б	39	39	10,9	11,8	11,3
Черноморско-азовский осетр . . .	1952, № 33	6	А	10	7	13,1	13,7	13,4
			Б	6	3	12,8	13,4	13,1
		10	А	26	18	13,7	16,0	15,0
			Б	20	16	14,1	16,4	15,2
Северюга . . . . .	1952, № 19	11	А	4	3	15,0	15,5	15,3
			Б	10	8	14,5	16,3	15,3
	1952, № 46	6	А	13	11	10,3	12,9	11,8
			Б	38	34	11,0	12,7	11,9
	1952, № 15	9	А	6	6	12,2	13,7	12,9
			Б	25	25	11,8	14,2	13,1

\* Яйца инкубировались в аппарате Чаликова в реке.

Интересно отметить, что в дополнительной серии, при развитии яиц с «семью» бластомерами, были также получены личинки, по своему строению не отличающиеся от личинок, развившихся из яиц с симметричным рисунком дробления.

Если бы между яйцами в сериях А и Б существовали какие-нибудь исходные различия, то при мало благоприятных условиях развития в лаборатории эти различия выявились бы особенно четко. Так, при развитии яиц с избыточным числом бластомеров <sup>(2)</sup> из тех же партий икра около половины зародышей погибла в период инкубации, подавляющее большинство остальных имело те или иные четко выраженные дефекты строения, а немногие личинки без таких дефектов при выращивании сильно отставали в росте и развитии.

Таким образом, при развитии яиц с симметричным рисунком третьего деления и яиц с маленьким обособившимся бластомером не было обнаружено никаких закономерных различий в строении, темпе роста и жизнеспособности. Поскольку даже выщепление при третьем делении маленького бластомера — случай, при котором различия в форме и размерах между отдельными бластомерами наиболее велики — не является нарушением развития, все описанное многообразие в расположении борозд (рис. 1) следует рассматривать как выражение изменчивости нормального процесса дробления.

Институт морфологии животных  
им. А. Н. Северцова  
Академии наук СССР

Поступило  
6 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Т. А. Детлаф, ДАН, **94**, № 2, 361 (1954). <sup>2</sup> А. С. Гинзбург, ДАН, **92**, № 1097 (1953). <sup>3</sup> И. А. Садов, Е. М. Коханская, ДАН, **83**, № 6, 937 (1952). <sup>4</sup> М. Ф. Вернидуб, там же, 941. <sup>5</sup> М. Ф. Вернидуб, Е. В. Киселева, ДАН, **92**, № 5, 1093 (1953). <sup>6</sup> И. А. Садов, Е. М. Коханская, ДАН, **93**, № 6, 111 (1953).



А. И. ЗОТИН

**ОСОБЕННОСТИ СЕКРЕЦИИ ФЕРМЕНТА ВЫЛУПЛЕНИЯ  
У ЗАРОДЫШЕЙ ОСЕТРОВЫХ И ЛОСОСЕВЫХ РЫБ**

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 8 II 1954)

Показано, что вылупление зародышей костистых (<sup>1, 2, 4, 5</sup>) и осетровых (<sup>6</sup>) рыб происходит при помощи особого фермента, растворяющего яйцевые оболочки. Появление фермента в перивителлиновой жидкости связано с деятельностью одноклеточных желез вылупления, расположенных большей частью в покровах головы и передней части желточного мешка, а иногда и в других частях тела зародыша (<sup>1, 3, 7, 8</sup>). У зародышей осетровых рыб железы вылупления расположены в нижней части головы (<sup>6, 9</sup>). У зародышей озерной форели (*Salmo trutta morpha lacustris* Linné) перед вылуплением одноклеточные железы вылупления располагаются на жаберной крышке, на нижней и верхней челюстях, в области перикарда сердца, заходят на грудные плавники и на переднюю часть желточного мешка (см. рис. 3). У зародышей свирского сига (*Coregonus lavaretus baeri natio swirensis* Pravdin) и лосося (*Salmo salar morpha sebago* Girard) расположение железистых клеток несколько иное: у зародышей сига, в отличие от зародышей форели, железы отсутствуют на верхней челюсти, на грудных плавниках и в передней части желточного мешка; у зародышей лосося, в отличие от зародышей форели, железы отсутствуют в передней части поверхности желточного мешка.

Выделение фермента в перивителлиновое пространство происходит на стадии, близкой к вылуплению зародышей из оболочек. С этого момента начинается быстрое снижение прочности яйцевых оболочек (<sup>4, 6</sup>). На основании имеющихся в литературе данных о снижении прочности оболочек перед вылуплением зародышей осетровых (<sup>6</sup>) и лососевых (<sup>4</sup>) рыб нельзя судить о характере снижения прочности оболочек каждого индивидуального яйца. Дело в том, что при статистическом способе учета изменения прочности (что имело место в обеих работах) средняя прочность оболочек может снижаться по двум причинам: 1) вследствие постепенного снижения прочности оболочек каждого измеряемого яйца, или 2) вследствие резкого снижения прочности оболочек одних яиц в то время, как прочность оболочек остальных яиц остается прежней. В последнем случае средняя величина прочности оболочек характеризует, по существу, процент яиц со сниженной прочностью.

На рис. 1 показана прочность оболочек яиц севрюги (*Acipenser stellatus* Pallas.) на четырех стадиях развития перед вылуплением. Мы видим, что происходит постепенное снижение прочности оболочек всех яиц, а не только снижение средней прочности 10 оболочек. Иначе обстоит дело у зародышей лососевых рыб. На рис. 2 показаны три стадии снижения прочности оболочек одной и той же партии яиц лосося перед вылуплением. Можно видеть, что в этом случае постепенное снижение средней прочности оболочек перед вылуплением зародышей связано с тем, что статистически увеличивается процент яиц с резко ослабленными оболочками: одни яйца продолжают сохранять ту же прочность оболочек, что и на предшествующих стадиях, другие резко снизили прочность оболочек.

Такой характер снижения прочности оболочек зародышей лососевых рыб на стадии вылупления показывает, что снижение прочности оболочки каждого отдельного яйца происходит не постепенно, а скачком от максимального значения к нулевому. Наоборот, у зародышей осетровых рыб снижение прочности оболочек на стадии вылупления происходит постепенно у каждого отдельного зародыша. Это свидетельствует о том, что характер секреции фермента у зародышей осетровых и лососевых рыб различен: зародыши лососевых рыб выделяют фермент быстро и полностью сразу разрушая яйцевую оболочку; зародыши осетровых рыб могут выделять фермент постепенно, отдельными порциями — оболочки яиц разрушаются в течение некоторого времени.

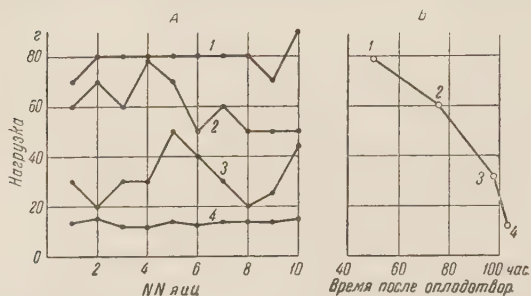


Рис. 1. Четыре стадии снижения прочности оболочек яиц севрюги перед вылуплением. А — прочность оболочек каждого яйца (измерена прочность оболочек 10 яиц на каждой стадии); Б<sub>г</sub> — среднее значение прочности оболочек тех же яиц

ет также следующее: у зародышей осетровых рыб железы и после вылупления некоторое время сохраняют активность (5), у зародышей лососевых рыб железы полностью исчезают в момент вылупления (см. рис. 3). Наконец, имеются и прямые опыты, показывающие, что зародыши лососевых рыб выделяют сразу весь фермент, а зародыши осетровых рыб выделяют его постепенно, отдельными порциями.

Раньше (6) были приведены данные по накоплению фермента в железах и в перивителлиновом пространстве зародышей осетровых рыб. Следует подчеркнуть, что исследовались железы и перивителлиновая жидкость одних и тех же зародышей на каждой стадии развития. Из данных, приводимых в этой работе (6), можно видеть, что у зародышей осетра в перивителлиновое пространство переходит не весь фермент на стадии вылупления, а только часть, другая часть его остается в железах вылупления.

Для зародышей лососевых рыб доказательство было получено следующим путем. На стадии вылупления зародыш лосося помещался в воду в лунку, сделанную на дне парафиновой ванночки. В лунке зародыш освобождался от яйцевой оболочки, затем помещался в воду и переносился в соседнюю лунку, где у него отделялась голова вместе с перикардимальной областью, а тело выбрасывалось. Таким образом, в одной лунке находилась оболочка и содержимое перивителлинового пространства, в другой — голова с железами вылупления. Головы в лунках растирались пинцетом с тем, чтобы большее количество фермента перешло в раствор. После получения растворов фермента в лунки закладывались яйца более ранних стадий развития. Прочность оболочек таких яиц была измерена через 24 часа. Все опыты сведены в табл. 1.

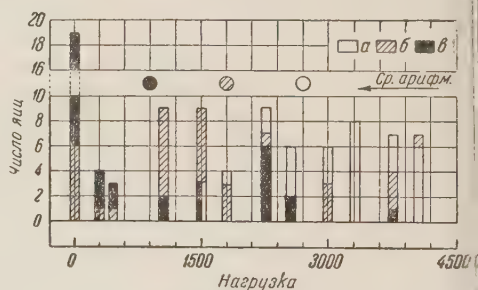


Рис. 2. Снижение прочности оболочек яиц лосося перед вылуплением. а — прочность оболочек до начала вылупления; б — прочность оболочек перед вылуплением отдельных зародышей; в — прочность оболочек на стадии вылупления

Из 32 опытов в 15 случаях активны оказались только головы, в 7 случаях активна была только перивителлиновая жидкость, в 8 случаях (опыты №№ 3, 7, 11, 17, 25, 29, 31, 32) не были активны ни головы, ни перивителлиновая жидкость, и лишь в 2 случаях (№№ 12, 13) были активны и головы, и перивителлиновая жидкость. Это означает, что только в двух случаях из 32 удалось поймать стадию перехода фермента из желез в перивителлиновую жидкость. В остальных случаях фермент или оставался только в голове или полностью переходил в перивителлиновую жидкость. 7 случаев, когда не было обнаружено никакой активности, объясняются, повидимому, тем, что фермент успевал выйти из ослабленных оболочек в окружающую воду до опыта, поэтому в лунках его не оказалось.

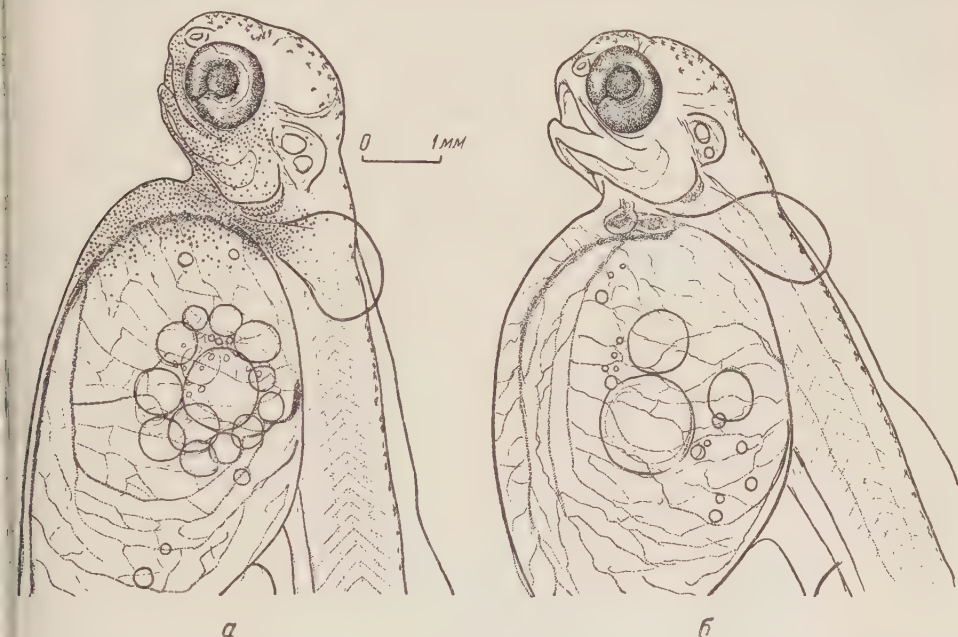


Рис. 3. Железы вылупления у зародышей форели. *а* — зародыш был вынут из оболочки перед вылуплением; *б* — зародыш самостоятельно вылутился из оболочки (рисунки сделаны через 24 часа после вылупления зародыша *б*)

Итак, все описанные выше опыты приводят нас к убеждению, что процесс секреции фермента зародышами осетровых рыб на стадии вылупления отличается от секреции зародышей лососевых рыб. Зародыши лососевых рыб выделяют фермент быстро и полностью. Зародыши осетровых рыб выделяют фермент отдельными порциями.

Как уже говорилось, у зародышей лососевых рыб (см. рис. 3) железы вылупления полностью исчезают во время выхода зародышей из оболочек. Экспериментальный анализ показывает, что исчезновение желез происходит только в том случае, если зародыш находился в оболочках. Опыт был поставлен следующим образом. Часть зародышей форели незадолго до вылупления вынималась из оболочек до того, как произошло исчезновение желез. Часть зародышей оставалась в оболочках. Если для секреции фермента необходимо присутствие оболочек, то железы вылупления должны исчезнуть только у зародышей, находящихся в оболочках. Как видно из рис. 3, железы исчезли только у тех зародышей, которые находились в оболочках. У зародышей, освобожденных из оболочек, железы вылупления полностью сохранились, хотя прошло около суток с того момента, когда произошло вылупление контрольных зародышей, находившихся в оболочках. Прослеживание дальнейшей судьбы этих желез



## Прочность оболочек (в г)

	Через 41 час									
	№№ опытов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Головы . .	0	140	1400	300	4400	3700	4400	700	3900	
Перивителл.										
жидкость	3700	1700	2500	2200	300	0	3700	4400	0	
Через 70 час.										
№№ опытов										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Головы . .	300	1000	300	70	0	0	700	1500	0	0
Перивителл.										
жидкость	3000	3000	700	700	2000	2500	3000	2000	3000	2200
Через 30 час.										
№№ опытов										
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Головы . .	0	0	300	4400	4400	4700	3000	4000	2500	4700
Перивителл.										
жидкость	4700	3000	2200	4400	700	600	300	3000	140	3700

показало, что они исчезают лишь через 5 суток пребывания зародышей в воде.

Таким образом, выделение фермента происходит только у тех зародышей, которые находились в яйцевых оболочках. Зародыш, дойдя до определенной стадии развития, отвечает на присутствие яйцевой оболочки тем, что выбрасывает фермент в перивителлиновое пространство.

Для того чтобы выяснить, куда девается фермент вылупления у зародышей, которые его не выделили в перивителлиновое пространство, был проделан следующий опыт. В 5 см<sup>3</sup> воды было помещено 50 зародышей лосося, вынутых из оболочек перед вылуплением. Железы вылупления начали исчезать у этих зародышей на 3-е сутки. Зародыши были вынуты из воды и туда помещены яйца с прочными оболочками. Если фермент с исчезновением желез переходит в раствор, то прочность яиц, помещенных в раствор, должна уменьшиться. Измерение прочности этих яиц показало, что фермента в растворе нет. Повидимому, у зародышей, вынутых из оболочек до вылупления, железы рассасываются и исчезают. При этом фермент не переходит в окружающую воду.

Поступило  
2 XI 1953

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> P. Wintrebert, C. R. Soc. Biol., **72**, 724 (1912). <sup>2</sup> I. Bourdin, *ibid.*, **95**, 1142 (1926). <sup>3</sup> I. Bourdin, *ibid.*, **95**, 1183 (1926). <sup>4</sup> F. Hayes, J. Exp. Zool., **85** (3) (1942). <sup>5</sup> Т. И. Привольнев, Зоол. журн., **22**, в. 3 (1943). <sup>6</sup> А. И. Зинченко, ДАН, **92**, № 3 (1953). <sup>7</sup> С. Г. Крыжановский, Тр. Инст. морф. животн., **4** (1949). <sup>8</sup> С. Г. Крыжановский, А. И. Смирнов, С. Г. Соин, Тр. Амурск. ихтиол. экспед. 1945—1949 гг., **2** (1951). <sup>9</sup> Н. И. Драгомиров, Тр. Инст. морф. животн., в. 10 (1953).



ЭНДОКРИНОЛОГИЯ

А. А. ВОЙТКЕВИЧ

**РЕГЕНЕРАЦИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В УСЛОВИЯХ  
РАЗНОГО УРОВНЯ ОСНОВНОГО ОБМЕНА**

(Представлено академиком А. И. Абрикосовым 11 II 1954)

До последнего времени изучение новообразования тканей и органов взамен утраченных касалось, главным образом, покровов. Слабо изучена регенерация внутренних органов и, в частности, железистых, образующих в процессе функционирования особые активные вещества. Из желез внутренней секреции несколько лучше изучены восстановительные процессы в половых железах (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>), менее изучена регенерация щитовидной железы. В ряде клинических работ имеются общие сведения о регенерации тиреоидной ткани после частичной тиреоидэктомии. В нашей сводке 1939 г. приведены литературные и собственные данные относительно тиреоидэктомии и представлены микрофото регенератов, образовавшихся после неполного удаления тиреоидной ткани (<sup>4</sup>).

В настоящей работе изучена последовательность регенерационного процесса в щитовидной железе и показана его зависимость от физиологического состояния организма. Предполагалось, что особенности регенерации в железе будут лучше выявлены в условиях контрастного по своей природе воздействия на нервную систему организма. С этой целью часть животных подвергалась тиреоидизации, в условиях которой, в высших отделах центральной нервной системы преобладают процессы возбуждения, сменяющиеся запредельным торможением в условиях длительной тиреоидизации. Другая группа животных получала тиоуреат, вызывающий ослабление возбудительного и тормозного процессов в полушариях переднего мозга, с проявлением охранительного торможения (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>). Наиболее характерными при этом являются изменения в метаболизме, в частности такие, которые находят отражение в уровне основного обмена. При тиреоидизации интенсивность основного обмена резко повышена, при даче тиоуреата, напротив, понижена (<sup>3</sup>). В первом случае в щитовидной железе резервируется большое количество активного начала, во втором случае железа имеет картину предельного функционального возбуждения при полной утрате гормональных начал.

Стоявшая перед нами задача сводилась, таким образом, к выяснению зависимости регенерационного процесса в щитовидной железе от тех общих изменений в организме, в осуществлении которых определенная роль принадлежит именно тиреоидному гормону как важнейшему промежуточному звену единой нервной регуляции.

Предварительные опыты были проведены на цыплятах (белые леггорны) и 24 белых крысах. Десятидневные цыплята получали в течение 10 дней метилтиоурацил (МТУ) по 10 мг в сутки. За 3 дня до начала дачи препарата у каждой птицы удалялась  $\frac{1}{3}$  левой доли щитовидной железы. По окончании опыта обе доли железы взвешивались, фиксировались, подвергались гистологической обработке и микроскопическому

изучению. Регенерация железистой ткани имела место у всех контрольных (7) и только у половины (5) птиц, получивших МТУ. Регенерация начавшаяся после ампутации трети доли железы, сильно угнеталась или вовсе прекращалась под влиянием тироурата.

Белые крысы (вес около 100 г) получали МТУ (8 особей) по 25 мг тиреоидин (8 особей) по 15 мг в сутки. 8 контрольных крыс препаратом не получали. Удаление  $\frac{1}{3}$  левой доли железы производилось одновременно с началом дачи препаратов. Продолжительность опыта 10 дней. Реакция щитовидных желез на тиреоидин или МТУ была отчетливо выражена. Регенерация тиреоидной ткани имела место у контрольных животных в условиях тиреоидизации, но отсутствовала при даче тироурата.

Основной опыт был проведен на 63 крысах (средний вес около 70 г). Крысы были разделены на три одинаковые по числу животных серии (контроль, тироидин 10 мг, МТУ 20 мг в сутки). Суточная доза препарата делилась на три части и вводилась каждому животному через зонд в желудок. Условия содержания и рацион были тождественными для животных разных серий. Введение препаратов начиналось за 5 дней до удаления первого фрагмента щитовидной железы. Удаление частей щитовидной железы производилось в стерильных условиях под наркозом. При первом вскрытии области шеи удалялась задняя половина левой доли железы. Через 1, 2, 3, 4, 5, 10 и 20 дней у трех животных каждой серии удалялись оставшаяся (передняя) половина левой доли железы и задняя половина правой доли. Следовательно, после первого вскрытия оставлялось  $\frac{3}{4}$  железы, после второго  $\frac{1}{4}$  (как и в работе Н. С. Артемьевой<sup>(2)</sup> в ее опытах на половой железе). Через 15 дней после второго вскрытия у всех животных трех серий извлекалась оставшаяся половина правой доли. Во всех случаях производилось взвешивание, гистологическая обработка и изучение микроструктуры щитовидных желез как в исходном состоянии, так и в разные фазы регенерации.

Полученные данные показали, что к моменту первой ампутации в железах животных разных серий отчетливо проявились типичные функциональные изменения соответственно введенным препаратам. В течение последующего периода такие изменения значительно прогрессировали. В условиях введения названных препаратов не отмечено компенсаторного усиления функции в оставшейся части железы даже в тех случаях, когда ее объем составлял лишь  $\frac{1}{4}$  исходного. В условиях тиреоидизации организм насыщен в избытке тиреоидным гормоном, а собственная щитовидная железа находится в фазе гипofункции; при введении тироурата достигается предел функциональной напряженности железы, и в связи с этим исключается возможность дальнейшего усиления функции оставшейся части железы, хотя организм и лишен тиреоидного гормона. Таким образом, в обоих случаях значение щитовидной железы для организма весьма невелико. У контрольных же животных компенсаторное усиление функции имело место и проявилось в наибольшей степени при оставлении  $\frac{1}{4}$  железы. Это хорошо видно на микрофото рис. 1 и 2, где представлены участки передней половины левой и правой долей железы одного и того же животного. Такого рода явления несколько менее выражены у тех животных, у которых период функционирования  $\frac{3}{4}$  железы был более продолжителен.

При изучении регенерации мы учитывали три взаимно-связанных процесса: образование новой ткани, изменения в непосредственно прилежащей к регенерату области и общую реакцию железы на повреждение. Рассмотрим в первую очередь течение регенерации в железах контрольных животных. Вскоре после ампутации в красной зоне железы имеется много вытянутых или округлых эпителиальных клеток разрушенных фолликулов и встречаются также небольшие нейтрофильные лейкоциты, выселившиеся из сосудов в область разрушения фолликулов. Позже появляются гематогенные полибласты, их больше в периферических частях



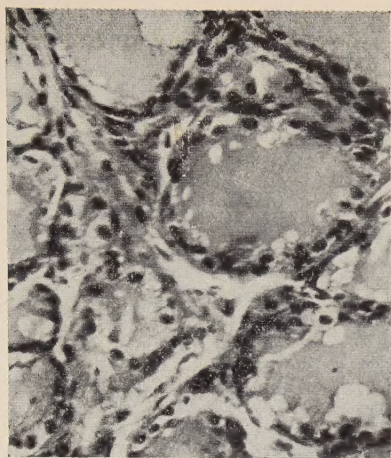


Рис. 1. Микрофото передней половины левой доли щитовидной железы контрольной крысы.  $\times 360$ . В гомогенном коллоиде фолликулов видны крупные вакуоли — признак общей реакции железы на повреждение

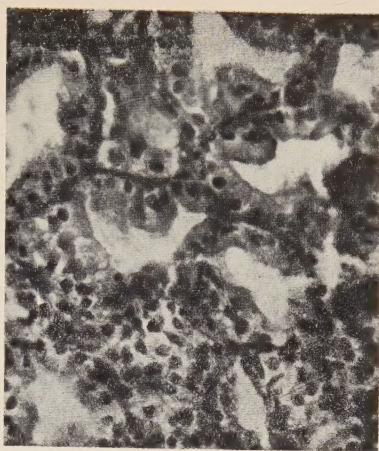


Рис. 2. Микрофото передней половины правой доли щитовидной железы той же крысы, что и на рис. 1.  $\times 360$ . Резкая гиперплазия как результат усиления функции остатка железы

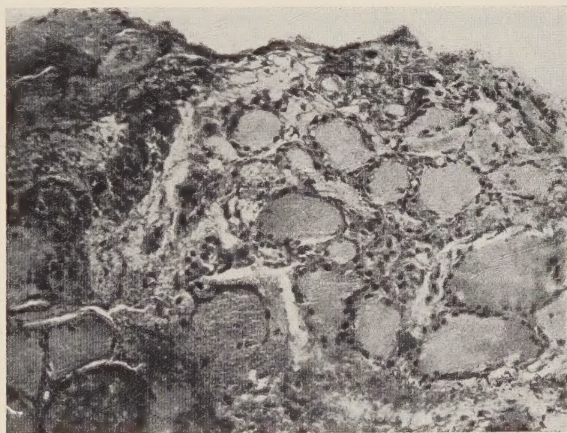


Рис. 3. Краевая зона поврежденной щитовидной железы в условиях тиреоидизации.  $\times 200$

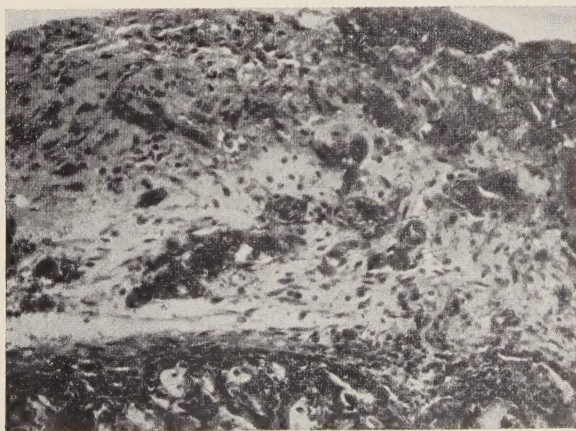
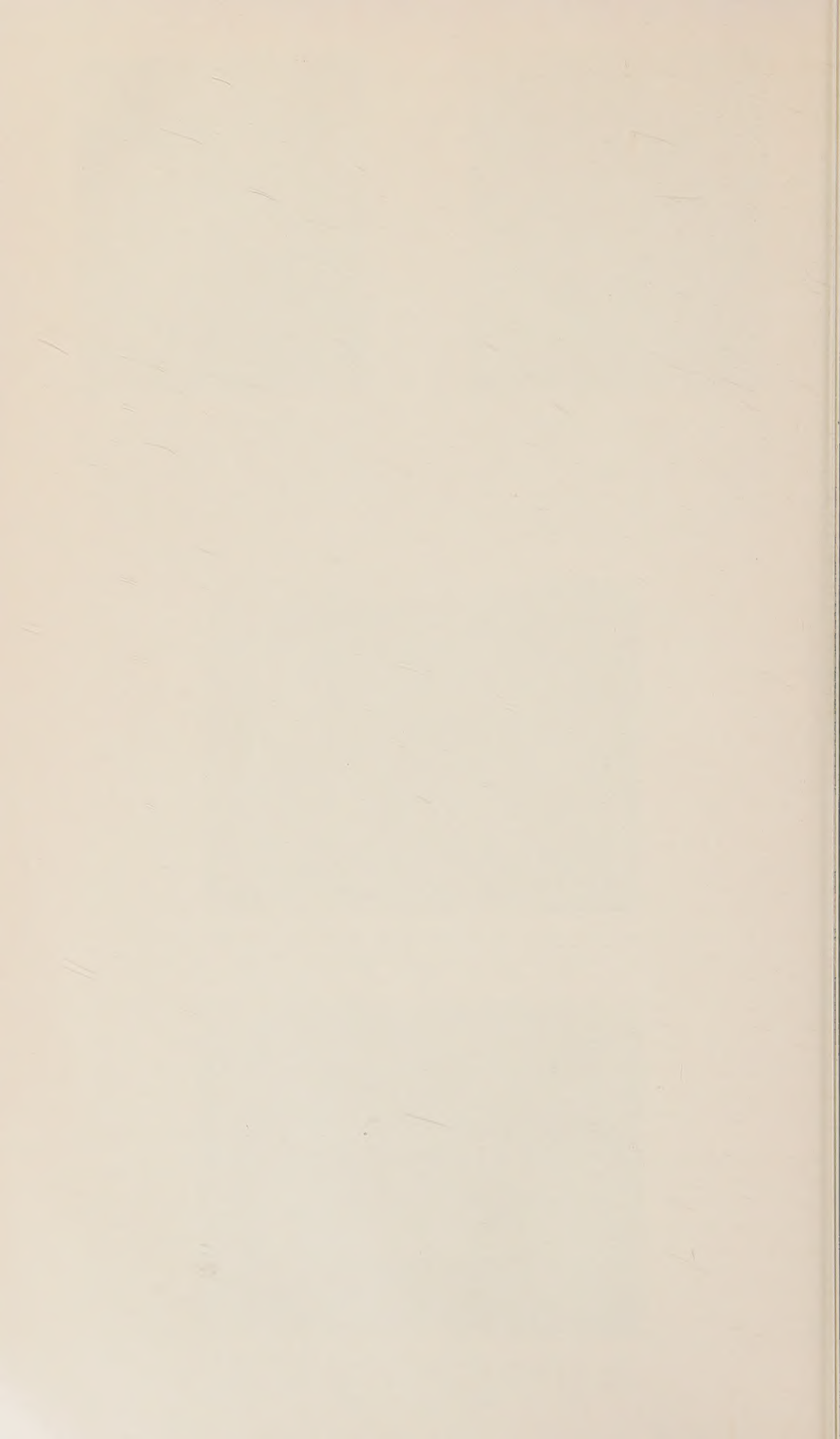


Рис. 4. Краевая зона поврежденной щитовидной железы в условиях введения в организм метилтиоурацила.  $\times 200$





образующегося регенерата. Тут же представлены и небольшие фибробласты. В фолликулах, прилежащих к зоне повреждения, постепенно нарастает вакуолизация протоплазмы эпителиальных клеток. Более того, в большинстве фолликулов железы, в коллоиде, появляются единичные, обычно крупные вакуоли при отсутствии существенных изменений в секреторных клетках эпителия (рис. 1). Через 3 дня заканчивается реакция со стороны гематогенных элементов: нейтрофилов нет, много созревших полибластов, появились тканевые полибласты (свободные макрофаги). Прилежащей к регенерату области продолжается распад фолликулов, отмечается резкое усиление васкуляризации. В самом регенерате происходит образование сосудов, в непосредственной близости от которых группируются клетки, образующие позже мелкие фолликулы. В краевой зоне много фибробластов, частью превращающихся в фиброциты. Через 10 дней регенерат представлен значительным конусовидным или грибовидным выростом. Гиперемия, сочетающаяся с образованием кровяных сгустков, распространилась и на область регенерата. В кровянистой массе отчетливо видны формирующиеся фолликулы, вокруг них много полибластов и фибробластов. В новых фолликулах имеется коллоид, содержащий разрушающиеся клетки. Через 20 дней процесс образования фолликулов не прекращается. На гистологических срезах отчетливо выражена краевая часть железы с оформленными фолликулами, содержащими окисильный коллоид. Под этой областью располагается сильно васкуляризованная зона, в которой продолжается образование фолликулов. В редких случаях эта зона и область молодой ткани располагаются в обратном порядке.

При тиреоидизации рассмотренные выше явления, сохраняя свою последовательность, ускоряются; реакция организма на повреждение железы чрезвычайно сильна — происходит интенсивное выселение кровяных и тканевых клеток и быстрое образование новых фолликулов (рис. 3). Через 10 дней, и тем более через 20, область молодой ткани четко выражена, но она невелика по размерам. Под ней располагается репаративная зона с множеством клеточных островков. Новый участок капсулы над железистой тканью имеет нормальное строение.

В условиях введения тиоуреата отсутствует или крайне слаба реакция выселения клеточных элементов (она выражена только в непосредственной близости сосудов); продолжительное время наблюдается деструкция фолликулов и разрушение эпителиальных клеток; образование новых фолликулов не происходит. Отмечается активная реакция со стороны клеток поврежденной соединительнотканной капсулы (рис. 4), приводящая к образованию грубого рубца над поврежденным участком железы. Для всех желез характерна чрезвычайно сильная васкуляризация, сопровождающаяся мощными кровоизлияниями в область образующегося рубца и в пограничную между ним и железистой тканью зону. Разрушение эпителиальных клеток распавшихся фолликулов отмечается во все сроки, но оно не сопровождается возникновением очагов новообразования.

Аналогичный результат действия тиреоидина и тиоуреата отмечен и при изучении участков правой доли железы, т. е. при оставлении железистой ткани и 15-дневной продолжительности наблюдений.

Основываясь на полученных данных, мы заключаем, что способность к регенерации не представляет чисто местного явления, определяемого наличием тех или иных структур, а зависит от реактивности целостного организма. В условиях тиреоидизации, при достаточно высокой возбудимости нервной системы, интенсивно протекает репаративный процесс при такой последовательности его основных фаз. Это не ограничивается частным случаем регенерации щитовидной железы, но, повидимому, имеет более общий характер, поскольку в работах нашей лаборатории оно выявлено и при регенерации ряда тканей и органов. Функциональное возбуждение готовых структур и процесс их новообразования в железе



не тождественны, хотя и отражают в своем проявлении сдвиги в интенсивности окислительных процессов в организме.

Удаление разных по объему частей щитовидной железы у белых крыс сопровождается регенерацией, интенсивность которой зависит от насыщенности организма тиреоидным гормоном. При частичной тиреоидэктомии усиливается функция остатка железы тем больше, чем меньше объема оставленной части; при тиреоидизации и при даче тироурата этого не наблюдается. При высокой концентрации гормона щитовидной железы в организме активизируются все фазы репарации: от выселения кровяных элементов в область повреждения до образования типичных долей железы структур. В условиях недостаточности или отсутствия тиреоидного гормона, вызванных введением тироурата, реакция кровяных и тканевых клеток резко ослаблена, процесс распада старых структур затягивается во времени, образование новых фолликулов не происходит. Обильное кровоснабжение и локальные кровоизлияния всегда сопутствуют формированию новых фолликулов. Вместе с тем обильное кровоснабжение не является единственным условием, обеспечивающим образование новых фолликулов щитовидной железы (введение тироурата сопровождается наиболее сильной гиперемийной реакцией тиреоидной ткани, но образование фолликулов не происходит). Репаративный процесс в щитовидной железе, как и в других органах, возможен при определенной реактивности организма (регулируемой нервной системой), одним из показателей которой является уровень основного обмена.

Казахский медицинский институт  
им. В. М. Молотова

Поступило  
12 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. И. Аристов, О компенсаторной гипертрофии яичников, Диссертация, СПб, 1891. <sup>2</sup> Н. С. Артемьева, ДАН, 72, 217 (1950). <sup>3</sup> В. Е. Вецнер, Тр. каф. общ. биол. Казмединститута, 1, 33 (1952). <sup>4</sup> А. А. Войткевич, Изв. АН СССР сер. биол., 3, 400 (1939). <sup>5</sup> А. А. Войткевич, Усп. совр. биол., 35, 105 (1953). <sup>6</sup> В. И. Гунин, Тр. 2-й Всес. конф. научн.-мед. студ. общ., 13 (1952).